目 录

报告内容概要.....1
第 1 章 概 述.....2
第 2 章 功率半导体器件领域专利分析.....3
2.1 全球专利发展趋势分析.....3
2.2 首次申请国家/地区分析.....5
第 3 章 IGBT 领域专利申请分析.....8
3.1 全球专利申请现状.....8
3.1.1 发展趋势分析.....8
3.1.2 IGBT 结构的技术发展路线.....11
3.1.3 申请人分析.....17
3.2 中国专利申请现状.....20
3.2.1 中国专利申请概况.....20
3.2.2 技术功效分析.....21
第 4 章 SIC 器件专利申请分析.....29
4.1 全球专利申请现状.....30
4.1.1 技术生命周期分析.....30
4.1.2 技术构成分析.....35
4.2 MOSFET 栅氧化膜技术分析.....36
4.2.1 发展路线分析.....36
4.2.2 中国申请技术布局.....41
第 5 章 英飞凌公司专利申请分析.....44
5.1 首次申请及目标国家/地区分布.....44
5.2 COOLMOS 核心专利分析.....46
第 6 章 主要结论.....50
6.1 功率半导体器件领域整体结论.....50
6.2 IGBT 领域结论.....51
6.3 SIC 器件领域结论.....52
6.4 重点申请人结论.....53

报告内容概要

功率半导体器件在其发展的初期（上个世纪 60-80 年代）主要应用于工业和电力系统。近二十年来，功率半导体的应用已经渗透到国民经济与国防建设的各个领域。随着世界各国对节能减排的需求越来越迫切，功率半导体已从传统的工业控制迈向新能源、轨道交通、智能电网、变频家电等诸多行业。国务院、发改委、工信部等部门均制定了一系列的政策来扶持功率半导体器件相关企业。在市场竞争格局方面，在目前中国功率器件市场上，国外厂商占绝对优势。

本报告主要采用定量分析和定性分析相结合的方式，宏观上对功率半导体器件领域专利申请进行总体分析，微观上对关键技术 SiC 器件以及重要申请人英飞凌公司进行了重点分析。本报告数据均采集自国家知识产权局专利检索与服务系统，数据截止时间为 2012 年 4 月 30 日。由于报告中专利文献的数据采集范围和专利分析工具的限制，加之水平有限，报告的数据、结论和建议仅供社会各界借鉴参考。希望社会各界进一步利用报告，同时欢迎社会各界多多批评指正。若有任何建议和意见，请您发送邮件至：chuzhanxing@sipo.gov.cn。感谢您的关注。

第1章 概 述

功率半导体器件（Power Electronic Device）又称为电力电子器件和功率电子器件，是用于电能变换和电能控制电路中的大功率电子器件。功率半导体器件是电力电子技术的基础，是电力电子设备的构成核心，它的特性和应用方法直接影响着电力电子系统的性能价格和可靠性。

功率半导体器件在电力电子技术中作为开关元件，应具有开关速度快、承受电流和电压能力大(即容量大)和工作损耗小等特性。理想的电力电子半导体器件在断态时应能承受很高的电压，并且漏电流很小；在通态时能有很高的电流密度，并且压降很低；在断态和通态间又能很快地转换；在导通时能限制电流的上升率，在电路事故状态下无需外电路元件的帮助也能限制电流。电力电子技术发展，不仅要求电力半导体器件具有自关断的特性，以简化控制电路；而且还要求电力电子器件可集驱动、保护为一体，多元件封装在一个模块中，以进一步简化电路，提高运行的可靠性。

现代电力电子技术无论对电力、机械、矿冶、交通、化工、轻纺等传统工业，还是对航天、激光、通信、机器人等高新技术产业都至关重要。应用领域几乎涉及到国民经济的各个部门，如图 1-1 所示。近几年西方发达国家尽管总体经济的发展速度较慢，但电力电子技术却一直保持着较快增长。

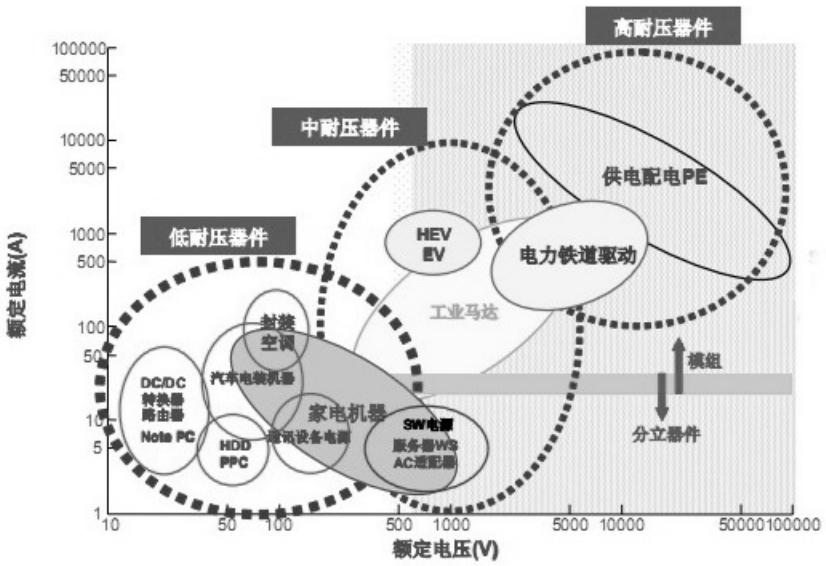


图 1-1　功率半导体器件的应用领域

第2章 功率半导体器件领域专利分析

本章中，基于功率半导体器件领域的全球专利申请，对该领域的专利申请技术进行综合性分析。本章涉及专利申请 38632 项，截止日期为 2012 年 4 月 30 日。

2.1 全球专利发展趋势分析

图 2-1-1 示出了功率半导体器件全球专利申请的发展趋势。可以看出，全球功率半导体器件领域专利申请总体态势可分为以下四个阶段。图 2-1-1 中的饼形图显示了各类功率半导体器件所占的比例，其中申请量最大的是功率场 MOSFET，占比达到 29%。其次是技术发展较早的双极晶体管，接着便是目前研发及市场的热点器件绝缘栅双极晶体管（IGBT），其出现时间较晚，但发展速度较快，目前的占比已经达到 18%，晶闸管及二极管的占比相对较小。图 2-1-1 中的条形图分别显示了各个阶段中各类功率半导体器件的占比，随着时间的变化，专利申请的侧重点也有明显的不同。

1、萌芽期（1962～1979 年）

这一阶段申请量较少但已开始逐年提升，从起始的几项申请发展到该阶段后期的 200 项以上。这个阶段的专利申请主要集中在第一代功率半导体器件二极管、晶闸管，以及 70 年代出现的第二代功率半导体器件大功率双极晶体管，仅有少量涉及 MOSFET 的专利申请，其中双极晶体管发展速度较快，从 1973 年开始申请量已超过百项，而同一时期的 MOSFET 发展相对缓慢，申请量所占的比重较小，仅有 8%，而 IGBT 尚未出现。

2、技术成长期（1980～1988 年）：

从 1980 年开始，申请量突破 500 项且发展迅速，并于 1988 年达到了 1366 项。这个阶段申请量的大幅增加主要源自双极晶体管的迅猛发展，其在该阶段所占的比例相比萌芽期进一步提升，达到了 43％。同时 MOSFET 的占比缓慢增加，80 年代出现的 IGBT 也逐步发展起来，但总的申请量还较少，占比仅有 5％。晶闸管的占比较大幅度地减少，由 35%降至 21%，而二极管的占比变化不大。

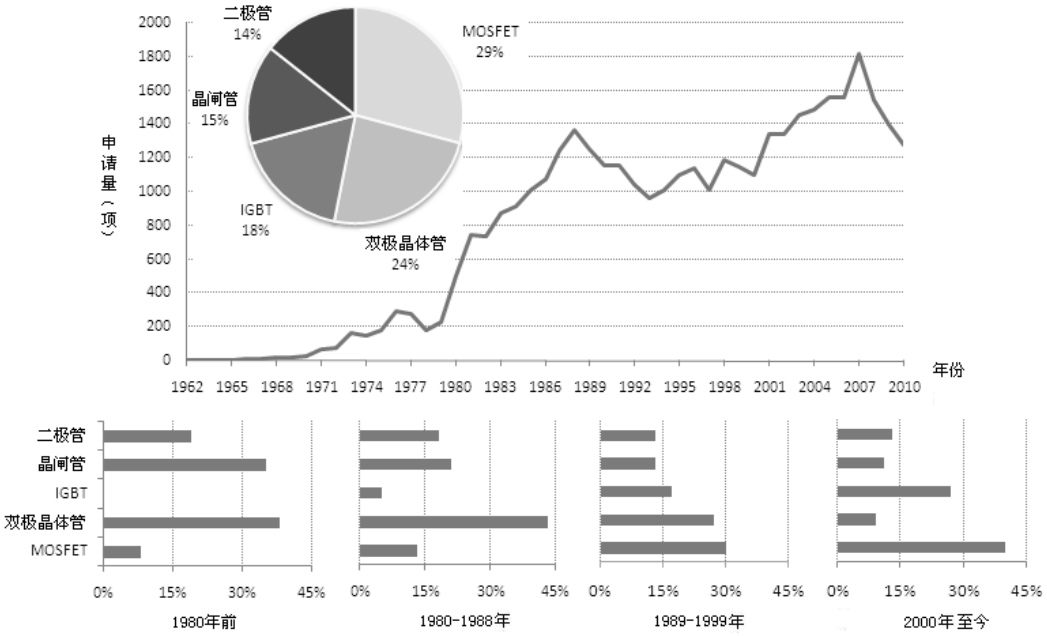


图 2-1-1 功率半导体器件全球发展趋势

3、调整期（1989～1999 年）：

这一阶段，专利申请量较峰值虽有所回落，但年申请量仍然维持在 1200 项左右，期间 MOSFET 在功率半导体器件市场中的强势表现激发了行业的研发热情，产生了大量的专利申请，其占比也从上阶段的 13%大幅增加至 30%。同时 IGBT 也有了长足的发展，两者的发展极大地压缩了双极晶体管的市场，这一阶段双极晶体管的专利申请出现了较大幅度的回落（参见图 2-1-2），年申请量由 1989 年的 609 项迅速下降至 1999 年的 214 项。

4、快速发展期（2000 年～至今）：

2000 年开始，功率半导体器件进入一个较快速的发展阶段，并于 2007 年达到峰值（1815 项），随后受累于全球经济的不景气，申请量有明显的回落，2009 年的申请量降至 1395 项。

当前的功率半导体器件市场中 MOSFET 占据较大的份额，IGBT 则在逐步拓展应用领域，发展迅速，在高耐压领域晶闸管仍具有较明显的优势，而大功率双极晶体管的应用领域被进一步压缩，这基本一致于快速发展期的各类功率半导体器件的占比，MOSFET、IGBT 优势明显，双极晶体管占比大幅较少，而晶闸管二极管变化不大，二极管占比略高于晶闸管，这与近些年碳化硅二极管的技术发展及逐步商业化有一定的关系。

图 2-1-2 示出了各类功率半导体器件的年申请量变化图。MOSFET 及 IGBT 处于较快速的发展阶段，两者的发展趋势极其类似。双极晶体管在经历了一个高速发展阶段，于 1988 年达到峰值的 663 项，随后开始大幅下降，2009 年申请量为 96 项，仅为峰值时的 1/6，已经成为近几年申请量最低的一类器件，而晶闸管及二极管仍然在持续地平稳地发展。

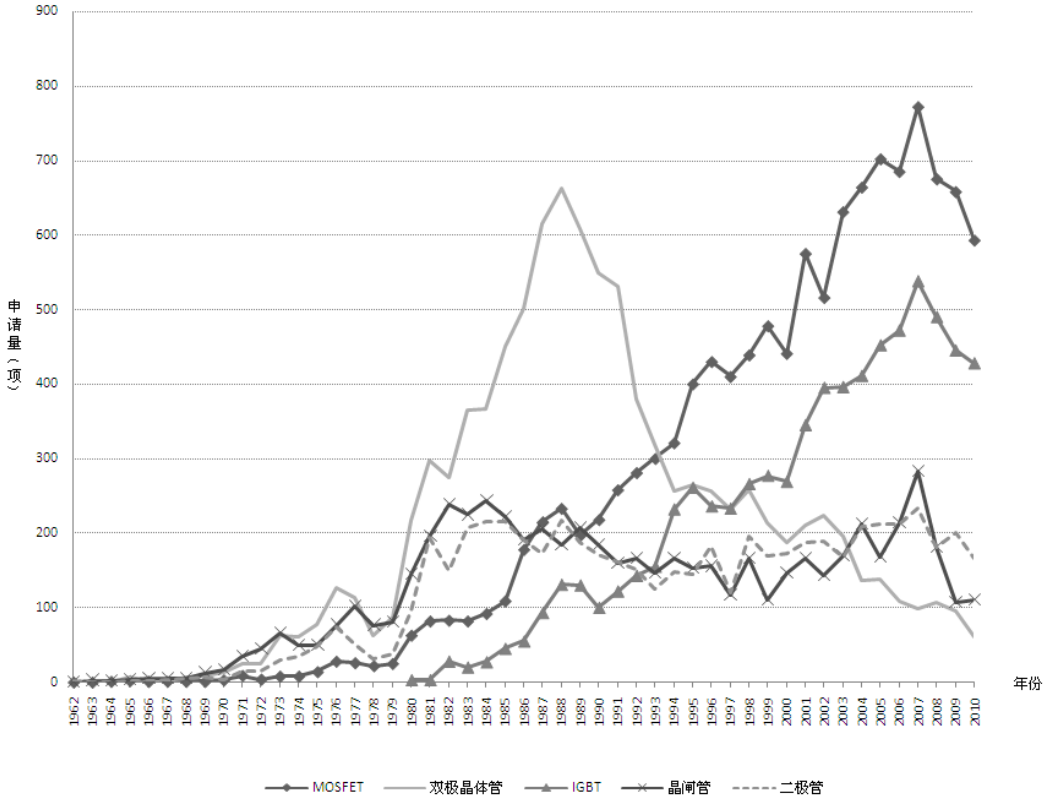


图 2-1-2 各类功率半导体器件历年申请量

2.2 首次申请国家/地区分析

图 2-2-1 示出了功率半导体器件首次申请的国家/地区分布情况。其中日本申请人的申请量最大，达到 24181 项，其次是美国申请人，申请量为 5816 项。中国申请人的申请量位于第三位，申请量为 2091 项。接下来是韩国和德国申请人，申请量分别为 1922 项和 1791 项。日本申请人的申请量虽然最多，但从多边申请的角度看，其多边申请量为 4663 项，仅占首次申请量的 19%，远低于德国和美国的多边申请的比例（65%和 49%），也低于韩国申请人的多边申请的比例（31%）。中国申请人的申请量虽然位于第三位，但多边申请量非常低，仅占首次申请量的 4%。

中国是功率半导体器件领域近几年申请最活跃的国家/地区，近五年申请量占总申请量的 84%。这一方面表明了中国作为功率半导体器件领域的研究还处于起步阶段，另一方面也表明了中国在功率半导体器件领域技术的蓬勃发展以及投入的增大，这将为未来的技术进步打下坚实的基础。美国申请人近 5 年申请也相对活跃，近五年申请量占总申请量的 22%，表现出其对功率半导体器件技术研究和申请的持续性。日本和德国申请人最近 5 年的申请比例相对较低，近五年申请量占总申请量的比例分别为 15%和 14%，其技术相对比较成熟。

从首次申请国家/地区的技术分支情况看，日本申请人对各种功率半导体器件关注度比较平均，其中对双极晶体管的申请比例最高，为 29%；其次为 MOSFET 器件，占总申请量的 24%；对于新兴的 IGBT 器件，其申请量占总申请量的 19%。美国申请人则是 MOSFET 器件的申请量大，占总申请量的 43%；其次为晶闸管，占总申请量的 16%。美国申请人对 IGBT 的申请比例相对日本申请人较少，申请量占总申请量的 15%。中国申请人的技术分布与美国申请人相似，申请比例最大的为 MOSFET 器件，占 41%；其次为晶闸管，占申请总量的 21%。中国申请人对 IGBT 器件的申请比例较低，占总申请量的 12%。德国申请人的专利申请技术分布也较为平均，其中申请量最多的为晶闸管，占申请总量的 28%，MOSFET 器件和 IGBT 器件分别占申请总量的 23%和 22%。可见德国申请人对高耐压功率半导体器件的申请相对较多。韩国申请人申请的技术分支中 MOSFET 器件占了总申请量的 51%，其次为双极晶体管器件，占了总申请量的 25%。韩国申请人对 IGBT 器件的申请量相对其他国家/地区，占总申请量的比例最低，仅为 7%。

比较可知，各国家/地区对各种功率半导体器件的研究投入有所不同，美国、中国和韩国 MOSFET 的申请量最多。而日本和德国申请人则投入相对平均。

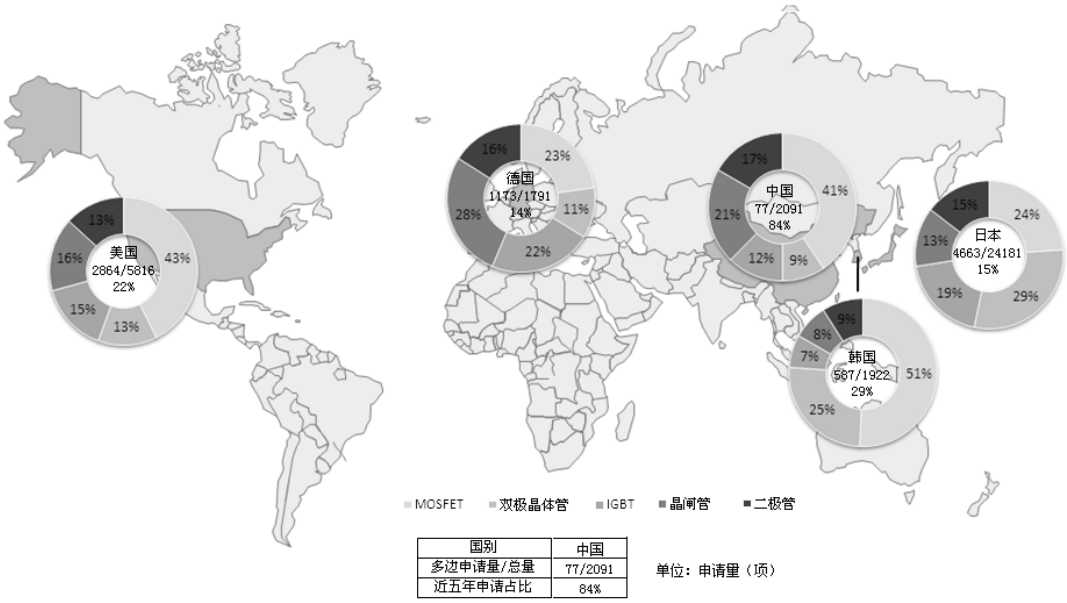


图 2-2-1 全球功率半导体器件首次申请国家/地区分布

图 2-2-2 示出了日本申请人对各技术分支的申请量年变化趋势。虽然日本申请人对双极晶体管的申请很多，但在 1984 年出现峰值之后，申请量一直呈下降趋势，1996 年后年申请量降低到 100 件以下，并呈逐年下降趋势，近几年已经不再活跃。相反 IGBT 器件最近几年的申请相对活跃，2006~2010 年的申请量占总申请量的 32%；MOSFET 器件自 1992 年申请量达到 200 件后，基本维持稳定上升的趋势，2008 年后申请量有所下降。MOSFET 器件申请的活跃度仅次于 IGBT ，2006~2010 年的申请量占总申请量的 22%。MOSFET 和 IGBT 器

件是日本申请人最近几年的重点研究领域。

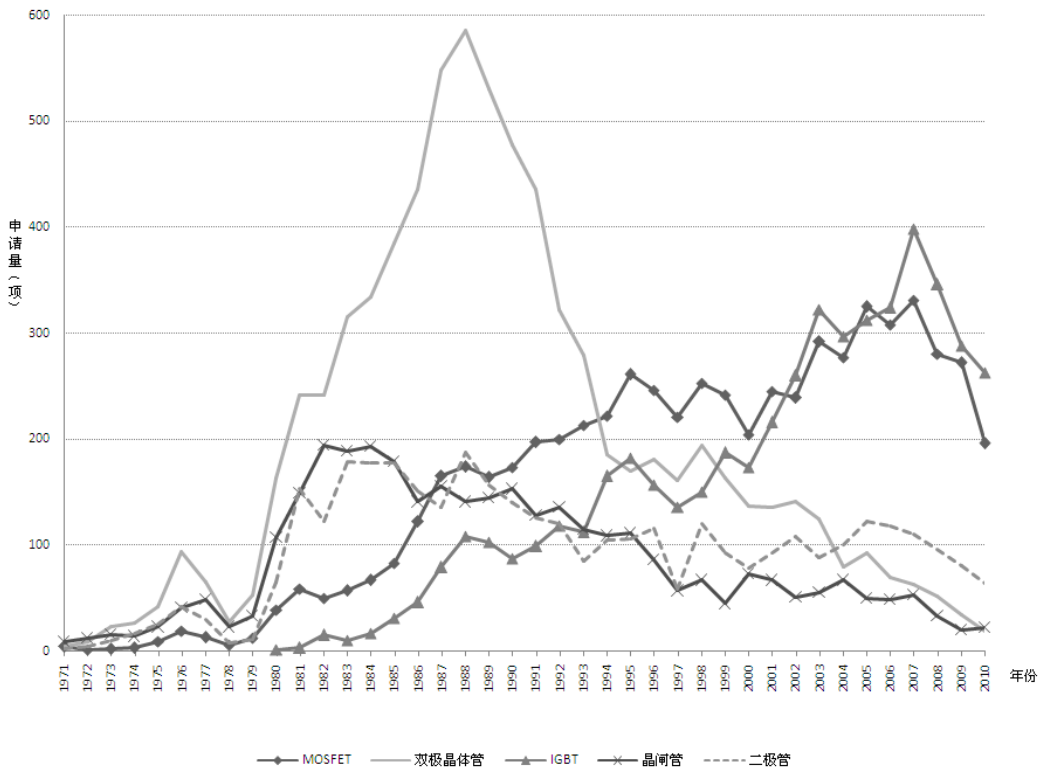


图 2-2-2 功率半导体器件日本首次申请各技术分支的年申请量变化

第3章 IGBT领域专利申请分析

IGBT 作为一种新型的功率半导体器件，一直备受业界关注。同时体现在全球专利申请数据和中国专利申请数据上，IGBT 领域的专利申请虽然起步较晚，但近年来一直保持迅猛增长势头，且各大公司也纷纷加大投入，将其作为重点研发方向。因此在本报告中选取 IGBT 领域作为关键技术领域进行重点研究。

在本章中将针对 IGBT 领域的专利申请状况进行分析，通过分析 IGBT 领域的产业技术状况，采用技术生命周期、技术发展路线、首次申请国及目标申请国分析、申请人分析等分析方法，研究了 IGBT 的全球以及中国专利发展趋势、IGBT 结构的技术发展路线、各技术分支专利布局等内容，以对了解全球 IGBT 的具体发展脉络和重点技术提供指导和借鉴作用。

3.1 全球专利申请现状

本节从 IGBT 器件全球申请量的变化和技术构成情况出发，对 IGBT 技术生命周期以及技术发展趋势进行分析。

3.1.1 发展趋势分析

截止到 2012 年 4 月 30 日，全球 IGBT 相关专利申请量为 7302 项。图 3-1-1 示出了全球 IGBT 专利申请量的年变化趋势。图 3-1-2 为 IGBT 的专利技术生命周期图。

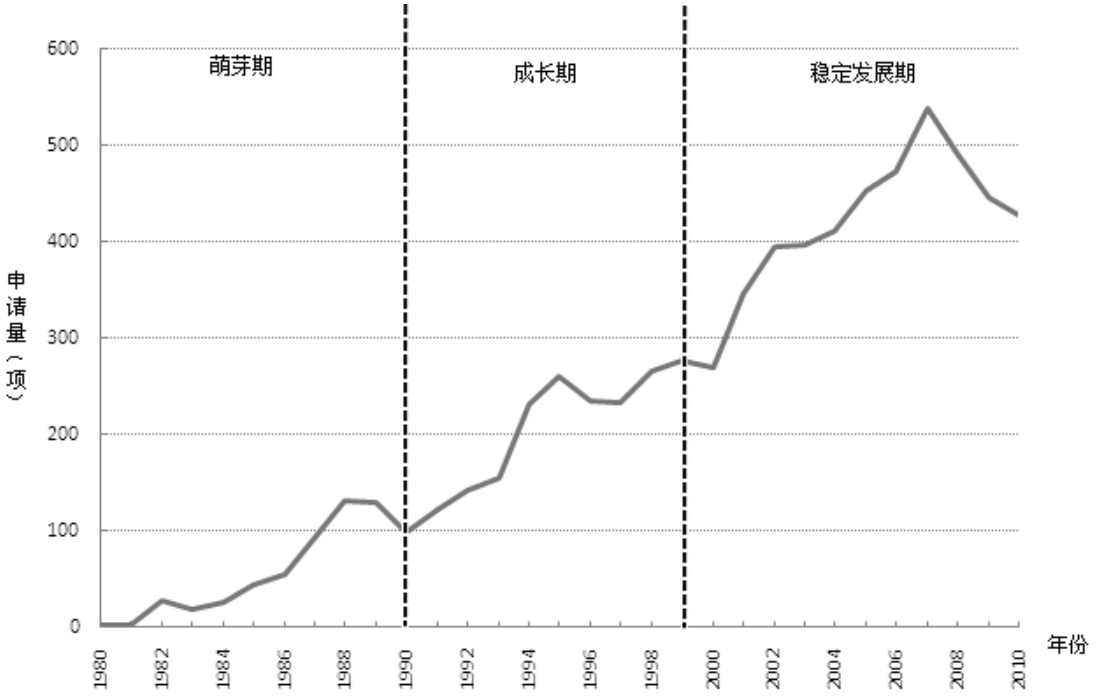


图 3-1-1 IGBT 全球专利申请量年变化趋势

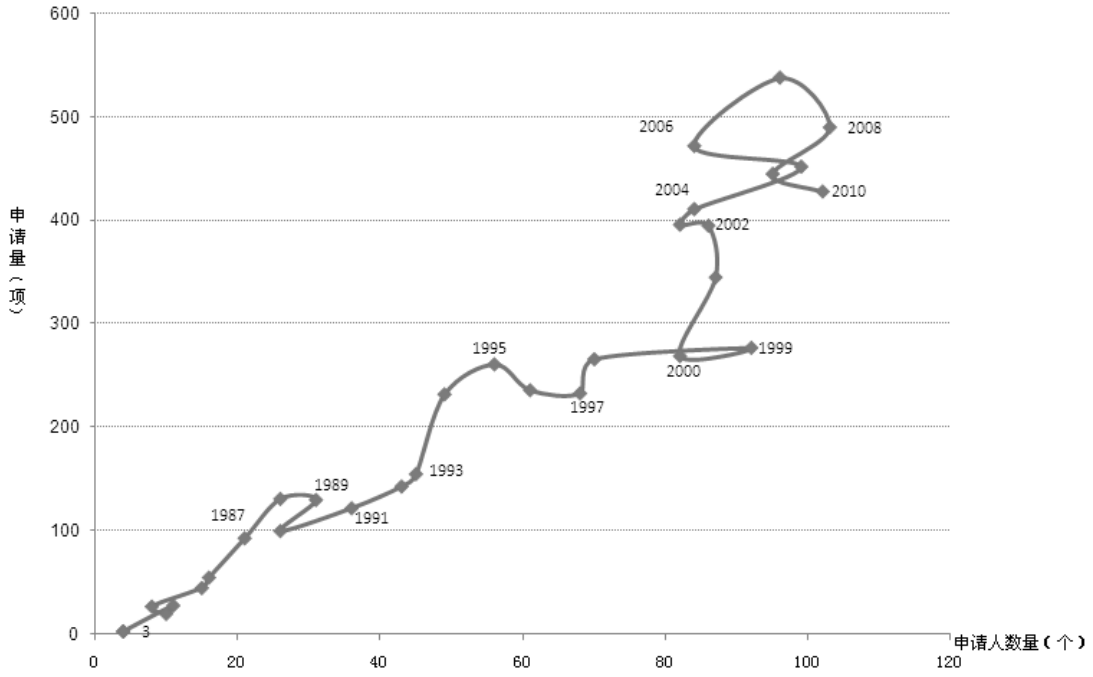


图 3-1-2 IGBT 全球专利申请的技术生命周期图

全球 IGBT 专利申请共分为三个阶段：

1、萌芽期（1980~1990 年）

萌芽期，进入该领域的申请人缓慢增加，申请量也有一定幅度的增长。从 IGBT 概念在 70 年代后期被提出之后，其闩锁效应的影响以及 n 漂移区的非平衡载流子注入等问题一直未得到消除，使得 IGBT 产品未能实用化。少部分企业在该领域持续研究，如通用、东芝、

三菱、飞兆和西门子等，但一直未有突破性进展。RCA 公司的申请 US4364073A（申请日[1]1980 年 3 月 25 日）被认为是最早的关于 IGBT 器件的申请，其于 1982 年 12 月 14 日被授权。同年，西门子也提出了申请 US4502070A，公开了一种 MOS 器件与晶闸管器件集成的器件结构。IGBT 器件的申请量于 1985 年开始有了相对大幅度地增加，直到 1988 年，申请量都保持了相对较高的增长速度。申请量最大增幅达到 69%，平均增幅为 47%。直到 1990 年，申请量小有回落，从 1989 年的 130 项降低到 100 项。1985~1986 年申请量的大幅上涨，与 IGBT 器件于 1986 年开始实用化是相应的。和 1984 年相比，1985 和 1986 年，申请人的数量增加了一倍，申请量最多的申请人的年申请量也翻了一倍还多，其中东芝、富士和通用在 IGBT 领域的申请量最多。1989 年的申请人数量有小幅上涨，但申请量基本维持不变。1990 年主要申请人保持较大量的专利申请，但由于申请人数量的回落，导致了年申请量有小幅回落。在萌芽期中，由于 IGBT 发展早期元胞结构是器件性能最重要的影响因素，故元胞结构的申请量的变化成为影响申请量涨落的最重要因素。

在此期间，出现了改进的平面穿通型的第 2 代 IGBT 以及平面栅非穿通，即 NPT-IGBT，的第 3 代 IGBT 结构。改进的平面穿通型 IGBT 又称精细化的平面栅穿通型 IGBT，与平面穿通型的第 1 代 IGBT 相比，第 2 代 IGBT 的栅结构的特征尺寸显著减小，但 IGBT 的结构基本没有发生变化。1987 年开始出现了关于平面栅非穿通（NPT）型器件结构的第 3 代 IGBT 的专利申请，如西门子的申请 US5132766A、富士的申请 JP11-35071A 以及通用的申请 US4857983A。非穿通结构，采用区熔衬底代替了传统的外延结构，极大降低了成本，同时降低了器件的厚度。

2、成长期（1991~1999 年）

在成长期中，先后出现了三代新的元胞技术（第 4 代、第 5 代和第 6 代 IGBT 元胞结构），芯片面积和功耗持续减小。第 4 代 IGBT 元胞结构在纵向结构上，延续了非穿通结构，在表面结构上采用沟槽栅结构替代平面栅结构，以减小面积，同时降低寄生效应。第 5 代和第 6 代 IGBT 元胞结构则采用背注缓冲区的工艺，回归 PT 结构，但器件厚度得到进一步减薄，称之为场截止（FS）结构，在表面结构上，栅极分别采用平面栅和沟槽栅结构。场截止结构同时具有 PT 结构和 NPT 结构的优势，器件性能更优异。新的元胞结构增大了器件的耐压性，降低了通态压降。性能的提高增大了 IGBT 器件的应用范围，其逐渐替代了晶闸管的部分应用领域。需求的增加使得行业吸引力增加，大量申请人涌入该领域，更多的公司参与到 IGBT 行业的竞争中。1991 年专利申请人数量仅为 36 个，而到 1999 年时，专利申请人的数量达到 92 个。在这期间，除了涉及元胞结构的专利申请呈增长趋势外，涉及终端结构和模块结构的专利申请也开始大量增加，从而使 IGBT 的专利申请量呈较快速度增长。由于市场的繁荣、应用范围的扩大及不同的厂商集中对不同代次的 IGBT 元胞结构和性能进行改进，

[1] 本章中的申请日指一个专利申请的最早优先权日。

这一阶段中专利申请数量较多，专利申请涉及的技术分支也较多。从改进的结构位置上，包括对源区（如 US6646304A、US7999317B2 和 CN1156905A 等）、基区（如 US2002006703A1、CN100557819C 和 CN102376709A 等）、栅结构（如 US5508534A、US2010230718A、US2011156137A1 和 US2003141542A1 等）、漂移区（如 US6621132B2、US7943991B2 和 US2002096708A1 等）以及集电区（如 US5668385A 和 CN102386220A 等）等的改进。从功效上，不断追求击穿电压的提高、导通压降的降低、开关特性改善以及各参数的平衡。技术的持续更新，推进了 IGBT 行业的持续快速发展，其中 1994 年申请量增幅最大，达到了 50%。这一阶段中，进入 IGBT 行业的公司越来愈多；主要申请人（如三菱，富士，英飞凌，ABB 等）虽然保持了持续的申请但申请量增长的幅度不大，而申请人数量的增加成为申请量大幅增长的主要原因。

3、稳定发展期（2000 年~至今）

稳定发展期期间，申请人的数量基本保持稳定，在 90 左右震荡。申请量直到 2007 年一直保持较快的增长，2008 年开始有所下降。2000 年以后，元胞技术已经趋于成熟，6 代 IGBT 元胞结构均已出现，并逐渐趋于成熟，技术改进的空间变小。同时，技术开始逐渐集中起来，申请量位于前 6 的申请人（其中，位于第 5 和第 6 位的申请人的申请总量相同）的申请量占申请总量的 48%，接近申请总量的一半。较高的技术集中度提高了进入该领域的门槛，使得申请人的数量维持在比较稳定的水平。

2001 年，由于元胞技术和终端技术的申请量的大幅增长而导致专利申请量大幅增加，其中元胞结构的增长率为 17%，终端结构的增长率为 76%。随着元胞的耐压的增加，边缘表面击穿对器件的限制作用越来越显著，这促进了终端结构的申请量的增长。如：US7582918B2、US2010264507A1 和 CN102263124A 等。

这期间，出现了逆导型 IGBT 和逆阻型 IGBT，其将二极管和 IGBT 器件集成在一起，进一步提高了器件的性能，同时为器件的模块化提供了新的途径，如 US2009170670A1、US2010264507A1 和 CN101414816B 等。目前，英飞凌已经推出了 RC-IGBT 系列产品，该系列产品降低了开关损耗和传导损耗，耐压为 600V。

3.1.2 IGBT 结构的技术发展路线

IGBT 器件是 MOS 器件与双极晶体管相结合而形成的复合功率开关器件。IGBT 概念最早在 70 年代前半期被提出，但早期的 IGBT“闩锁”效应严重，容易导致栅失控。并且由于 n-漂移区存在非平衡载流子的注入，器件的开关速度受到影响，故 IGBT 还处在实验阶段，不能被使用。直到 1986 年，在解决了结构和工艺上的一些问题后，IGBT 才真正得到应用并开始正式生产。元胞结构作为 IGBT 器件的核心结构，是 IGBT 器件演化发展的核心。IGBT 元胞结构的发展，包括纵向结构以及表面栅结构两个方向的演变。在纵向结构方面，主要经

历如下的变化：穿通结构、非穿通结构和场截止结构。在表面栅结构上，主要是从平面栅到沟槽栅的转变。沟槽栅结构从 90 年代中期开始应用于 IGBT 结构。纵向结构和表面栅结构的改变加以融合，IGBT 器件技术的演变基本可以认为经历如下六代的变化演进：平面栅穿通（PT）结构、精细平面栅穿通（PT）结构、平面栅非穿通（NPT）结构、沟槽栅非穿通（NPT）结构、平面栅场截止(FS)结构和沟槽栅场截止(FS)结构，如图 3-1-3 所示。

IGBT 元胞结构的垂直方向和水平方向的变革，以及在工艺不断进步的刺激下，其厚度逐渐减小，元胞尺寸不断缩小，元胞密度增大。下面将分别从每一代 IGBT 器件的元胞结构的技术改进和 IGBT 元胞结构的重要功能区域的技术发展两个角度，分别对 IGBT 器件的技术演进进行梳理和研究，以期能从较全面的角度对技术的发展趋势有一定的把握。

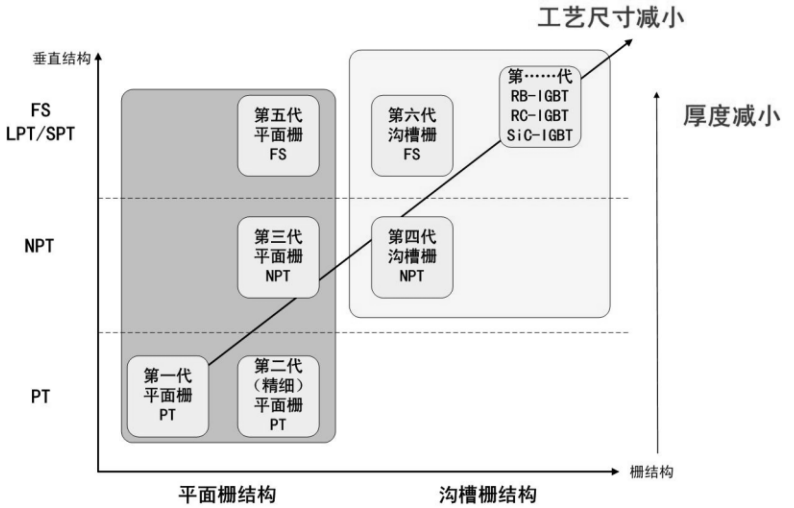


图 3-1-3 IGBT 元胞结构的技术发展路线

IGBT 器件的元胞主要结构明确，为了追求更高的耐压，更高的应用频率，对主要结构各个区域进行改进，如基区、源区、漂移区和发射区等。这里以部分重要专利为基础，以重要专利的引用关系为主线，梳理了 6 代 IGBT 元胞结构的演进趋势（如图 3-1-4 所示），希望能得出对 IGBT 器件元胞结构的发展趋势的说明。当然，以引用关系为主线，对于一种技术的追踪有一定的优势，但在覆盖技术的全面性上有一定的不足。

1、平面栅/精细平面栅穿通（PT）结构

平面栅 PT 结构出现在 80 年代初，作为第一代和第二代的 IGBT 结构，其采用外延工艺，在 p 型衬底上形成 n 缓冲层，以及其他正面结构。正面结构中，栅极为平面栅。第二代的 IGBT 结构在结构上没有大的变化，图形上更精细化，减小了元胞体积。作为最早的申请，RCA 公司的申请 US4364073A（申请日 1980 年 3 月 25 日）于 1982 年 12 月 14 日被授权，同日，GE 公司关于 IGBT 的论文在 IEDM 上发表。这标志着 IGBT 技术的开始。

西门子公司在该类器件上研究的也较早，在其提交的申请日为 1980 年 6 月 26 日的专利申请 US4502070A（比 US4364073A 晚了 3 个月左右）中，也提出了一种 MOS 器件与晶闸管器件集成的器件结构（该申请于 1985 年 2 月 26 日获得授权）。

为了提高器件的击穿电压，降低导通电阻，提高开关特性，申请人尝试对元胞的不同部分进行改进。结构上，包括对基区和源区进行改进的，如：US4543596A（西门子，1982 年[1]），对体区增加注入区域，以降低导通电阻；US5095343A（HARRIS，1988 年），改进表面工作区域，改善正电流温度系数；US5379089A（三菱，1990 年），对源区进行轻掺杂，提高开关特性；US5753942A（三星，1995 年），通过改善源接触开口的形状，降低前向电压和闩锁效应； US5945723A（日立，1992 年）对源区进行改进，以降低导通电阻，提高击穿电压。对集电区和缓冲区进行改进的，如：US5128277A（东芝，1985 年），通过控制缓冲层的浓度来提高器件耐压和开关速度；US6091087A（富士，1997 年），通过对发射区进行改进，提高击穿电压。对栅电极进行改进的，如 US4994871A（通用，1988 年），提供 U 型栅结构，以降低单元尺寸，减小导通电阻；US5541425A（三菱，1994 年），其提出在传统的 PT 结构中，采用沟槽栅结构替代平面栅，以降低导通电阻，提高器件特性。

2000 年以后，对第一和第二代器件的申请变得很少，市场关注的主要器件类型已经转移到 NPT 器件和 FS 器件上。

2、平面栅非穿通（NPT）结构

平面栅 NPT 结构出现在 80 年代末期，作为第三代 IGBT 结构，其厚度有了明显的改善，参数折中方面也较第一和第二代穿通结构有了明显改进。各主要申请人在开始对涉及该结构的专利进行申请的时间较接近，主要集中在 1986~1988 年之间（US5132766A，西门子，1987 年；JP11-35071A，富士，1987 年；US4857983A，通用，1987 年；JP11-09769A，三菱，1987 年）。在专利布局上，基本以美国、欧洲和德国为主。结构上，对基区和源区进行改进，如：东芝的申请 US5444271A（1993 年）控制各区域的厚度及掺杂浓度，以降低导通电阻和开启电压，进而降低开关时间；US6646304A（英飞凌，1998 年）在源区设置浮岛结构，以提高击穿电压；JP2004-228533A（三星，2002 年）形成条带型源区，在条带型源区上形成条带型电极以及大小变化的电极连接点，以降低短路电阻，提高大电流能力；CN100499159C（ABB，2003 年）设置双重基区结构，减少沟道中生成雪崩的空穴的移动，从而防止了早期的闩锁。对集电极进行改进，如：US4969027A（通用，1988 年）；US4857983A（三菱，1988 年），增加二极管结构，限制了寄生二极管的恢复时间，提高了频率特性；US5668385A（ABB，1993 年）采用透明集电极结构，降低衬底厚度的同时，降低开关损耗。对漂移区的改进，如：US2002096708A1（英飞凌，2000 年），通过在漂移区设置 P-电荷载流子区，提高击穿电压；CN100459151C（北京工业大学，2007 年）在缓冲层和集电极之间增加载流子寿命控制层，避免了采用高能粒子来提高开关速度，同时具有通态电压正温度系数；CN102208439A（新电元工业株式会社，2010 年）在漂移区增加低减层，提高开关特性。

3、沟槽栅非穿通（NPT）结构

[1] 本节括号中的年指专利申请的最早优先权日所在的年份。

沟槽栅 NPT 结构出现在 90 年代中期，作为第四代 IGBT 结构，其通过沟槽栅的引入，进一步降低了导通电阻。早期关于沟槽栅 NPT 的申请包括 US5869864A（西门子，1994 年）、US5714775A（东芝，1995 年）、US5578522A（三菱，1994 年）等。结构上，对基区和源区进行改进，如： US2002142527A（英飞凌，1999 年）对体区和漂移区增加 P 型掺杂岛，以减小沟道长度，提高击穿电压；CN101000911A（电装，2006 年），形成具有浓度梯度的基区；CN1823419A（丰田自动车，2003 年）、改善发射极开口的形状，改善器件安全工作区域。对栅极进行改进，如：US2002006703A（英飞凌，1998 年）对沟槽电极的结构布局进行了改进，使得源高掺杂区域在体区中与沟槽保持特定距离，以改善栅的热损伤；CN1379479A（东芝，2001 年）增加沟槽的深度，使其贯穿基区，从而降低导通电阻；JP2009170670A（丰田，2008 年）这是伪栅极的位置及深度；CN102347215A（英飞凌，2010 年）形成带电荷的栅介电层，以防止电特性的劣化。CN100573910C（三菱，2003 年）、CN100490172C（电装，2005 年）、CN101325215B（三洋，2007 年）调整沟槽栅的宽度和间隔，以增加电流密度。对集电区和漂移区的改进，如：CN101330103B（三菱， 2003 年）将起到 FWD 作用的二极管通过在集电区的 P 型和 N 型区域设置在元胞内部，改善二极管单元的恢复特性；CN1711643A（NXP，2002 年）形成漂移区和沟道容纳区并置的局部化区域。

从涉及的公司角度看，英飞凌公司对 NPT 型器件的研发较多。这与其提供的 NPT 系列器件较多和较成熟是相应的。

4、平面栅场截止(FS)结构

场截止结构的出现是 IGBT 结构的一个突破，进一步提高了工作频率，降低了导通损耗，通态压降小。场截止结构结合了穿通和非穿通类型器件的优点，硅片厚度比非穿通器件薄了约 1/3，有效降低了漂移层的厚度。

最早的关于平面栅 FS 结构的申请出现在 80 年代末，如 JP396281A（富士，1989 年）、

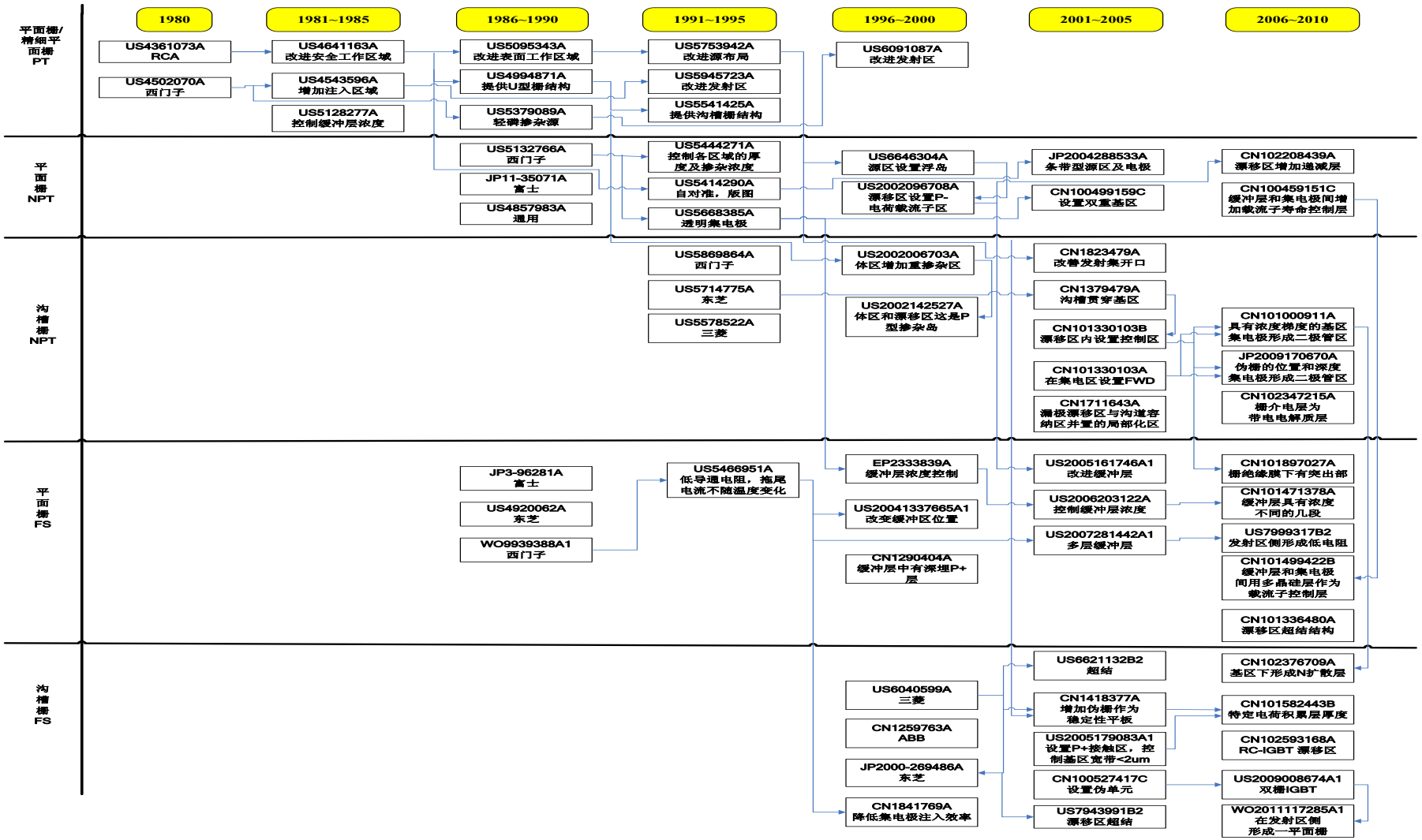


图 3-1-4　6 代 IGBT 元胞结构的技术演进

US4920062A（东芝，1988 年）、WO9939388A1（四门子，1988 年）。但由于该结构的工艺上的实施难度，该结构早期出现后并没有得到大力发展。该类型器件的申请量的增加开始于 90 年代后半期，并逐渐成为器件的主流之一。

结构上，对缓冲层的控制和改进是对平面栅 FS 器件改进的最主要的方向之一，如：US5466951A（西门子，1993 年）控制缓冲层的厚度，以降低导通电阻，使得拖尾电流不随温度变化；CN1290404A（通用，1998 年）在缓冲层中深埋 P+层，以减少开关损耗；US2004137665A（ABB，1999 年）改变缓冲区的位置，降低静态和动态损耗；EP2333839A（东芝，2000 年）和 US2006205122A（英飞凌，2005 年）控制缓冲层的浓度；US2007281442A1（ABB，2004 年）形成多个缓冲层；CN101471378A（东部高科，2007 年）将缓冲层进行分段，并使得每段的浓度不同，从而最小化正向压降。对集电极进行改进，如：CN101499422B（北京工业大学，2009 年）在缓冲层和集电极之间，采用多晶硅层作为载流子控制层，以降低开关损耗。对漂移区进行改进，如：CN101336480A（飞兆，2006 年）采用超结结构，选择漂移区柱体的物理尺寸，和掺杂浓度来改善通态电压，同时改善开关速度和抗闩锁能力。对栅电极进行改进，如：CN101897027A（丰田，2007 年）在栅绝缘膜下部形成有突出部，以提高耐压。对源区进行改进，如 US7999317B2（富士，2008 年）在源区侧形成低电阻区，以提高短路电阻特性；JP3209091B2（富士，1996 年）通过降低源区掺杂，降低了闩锁效应。

5、沟槽栅场截止（FS）结构

沟槽栅 FS 结构作为第六代 IGBT 结构，其将沟槽栅表面结构应用于场截止垂直结构，进一步提升了器件性能，同时减小了元胞间距。沟槽栅场截止器件出现于 90 年代末，各个公司的器件结构还稍有不同。如三菱公司的 CSTBT-IGBT（US6040599A，1996 年；US6001678A，1998 年），ABB 公司的 SPT-IGBT（CN1259763A），英飞凌公司的沟槽-场截止 IGBT。

结构上，对基区和源区进行改进，如：US2005179083A1（东芝，2002 年）设置基区，以及栅介电层的宽度，同时设置 P+接触区，以降低导通电阻；CN102376709A（电装，2010 年）在基区下形成 N 扩散层；CN101582443B（三菱，2008 年）控制电荷蓄积层的厚度在 1.4um 一下，减小输出电容或反馈电容；CN102593168A（英飞凌，2011 年）提供一种逆导型 IGBT，并控制基区中两源区之间的掺杂浓度大于基区的最大掺杂浓度，以提高抗闩锁能力。对集电极进行改进，如：CN1004284090C（三菱，2003 年）对内置 FWD 进行改进，减小间隔沟道与二极管之间的相互干扰，提高耐击穿特性。对漂移区进行改进，如：US6621132B2（富士，2000 年）采用超结结构，降低导通电阻；US7943991B2（飞兆，2005 年）对超结结构进行调整，降低导通电阻，提高击穿电压。对栅电极进行改进，如：CN1418377A（三菱，2001 年）增加伪栅作为稳定性平板，减小导通电阻，提高开关特性；CN100527417C（东芝，2002 年）提出通过设置伪单元，降低从集电区向缓冲区注入的载流子注入率；US2009008674A1（ANPEC ELECTRONICS CORP，2009 年）提出双栅 IGBT 结

构；WO2011117285A1（ABB，2010 年）提出在发射极侧形成一平面栅，也为一种双栅结构，以降低导通电阻，提高阻断能力。

此外，从引用关系中也可以明显看出，同一技术在不同代次的产品中的延续与改进。这里以对器件安全工作区域的改进为例来介绍同一技术在不同代次的产品中的延续与改进。

安全工作区域反映了开关器件同时承受一定电压和电流的能力。对于 IGBT 来说，导通时的正向偏置安全工作区，是由集电极电流的最大值，集射极电压的最大值和功耗线条边界极限包围而成的。集电极最大电流限制了动态擎柱现象的发生，最大集射极电压限制了正向击穿电压，最大功耗则有最好允许结温。

1988 年，HARRIS 提出了一种改进器件安全工作区域的方法（US5095343A），在该技术方案提出后，多个申请人对该技术进行改进，并应用于不同类型的元胞结构中。如：US5095343A 和 US5753942A 应用于第 2 代元胞结构中；US5414290A、US6646304A 和 JP2004228553A 应用关于第 3 代元胞结构中；CN1823419A 应用于第 4 代元胞结构中；US2005161746A1 应用于第 5 代元胞结构中。

综上所述，从元胞结构的演进趋势可以看出，PT 结构已经不是目前研究的重点。对于 NPT 器件，对基区和漂移区进行改进，以提高击穿电压，改善开关特性是改进的一种重要方向。对于 FS 器件，对缓冲层改进，充分发挥缓冲层的调节作用，是其改进的一个重要方向。对于栅结构，除了从平面栅向沟槽栅转变外，对于沟槽栅本身结构的改进，以减少沟槽栅电容、提高击穿电压为主线也是一个重点。同时可以注意到，目前也有出现同时具有沟槽栅和平面栅的双栅结构，该结构还处于研究中，有可能是元胞结构进一步的改进趋势。此外，超结结构的应用以及 RC-IGBT 是近期的一个研究方向。

3.1.3 申请人分析

申请人是专利申请的主体，也是技术发展的主要推动力量，通过对申请人，尤其是主要申请人的研究，可以发现本领域的申请主体的特点以及主要申请人的专利战略特点。IGBT 器件主要由欧美和日本企业所掌握，国际市场也主要由欧美与日本企业所垄断。其中欧洲主要的 IGBT 企业有英飞凌、ABB、意法半导体，美国主要的 IGBT 企业有飞兆、国际整流器公司（IR），日本主要的 IGBT 企业有三菱、富士电机和东芝、日立等。其中高压、大电流领域主要在欧洲和日本企业，美国企业主要集中在中低压产品领域。

表 3-1-1 展示了多边申请量前 15 位的申请人的专利申请的概况，从表中可以看出日本申请人数量最多，占据了其中的 8 个席位。其中东芝以 298 项多边申请位居首位，三菱以及富士分列二三位，其多边申请量分别为 265 和 247 项。德国的英飞凌申请起始时间较晚，但是发展迅速，近五年的申请比例达到了 48%，其前身西门子也跻身该表单的第七名，充分显示了这家全球领先的半导体公司的技术实力，虽然西门子在近些年也有一定量的涉及

IGBT 的专利申请，但是数量已经非常少，近五年的申请比例仅有 6%。其他欧洲的申请人还包括 ABB、飞利浦、意法半导体，其申请总量较少但多边申请占比很大，都在 60%以上，其中飞利浦已逐步退出 IGBT 领域。美国仅有飞兆和 IR 进入前 15 名。

多数申请人从 80 年代开始进行专利申请，而申请起步较晚的丰田，其申请量较大，且近五年的申请比例高达 59%，这与 IGBT 在电动汽车、混合动力汽车中的应用密不可分，同时活跃度较高的松下也源于 IGBT 在变频技术中的应用，广泛存在于家电市场中。

表 3-1-1 IGBT 全球主要申请人概况

申请人	国家	多边申请量（项）	总量（项）	总量占比（%）	申请持续时间	2006~2010 年申请比例（%）
东芝	日本	298	713	9.76	1982 年至今	19
三菱	日本	265	546	7.48	1982 年至今	32
富士	日本	247	1067	14.61	1985 年至今	27
英飞凌	德国	216	353	4.83	1994 年至今	48
电装	日本	123	396	5.51	1987 年至今	39
日立	日本	102	396	5.51	1981 年至今	17
西门子	德国	93	141	1.92	1980 年至今	6
ABB	瑞士	85	138	1.89	1988 年至今	22
飞兆	美国	74	111	1.52	1983 年至今	27
飞利浦	荷兰	68	78	1.07	1983~2005 年	0
丰田	日本	68	503	6.89	1992 年至今	59
瑞萨	日本	58	125	1.71	1993 年至今	56
意法半导体	意大利	55	75	1.03	1987 年至今	17
松下	日本	54	164	2.25	1981 年至今	66
IR	美国	45	121	1.67	1989 年至今	16

如果按照申请总量排名，日本公司占据前四名，分别是富士、东芝、三菱以及丰田。图 3-1-5 列出了这四家公司专利申请量年变化曲线，东芝和三菱申请起始时间都较早，之后东芝进入较快速的增长阶段，并于 2000 年达到峰值 48 项，随后申请量开始波动，但整体具有明显的下降态势；相比而言，三菱申请量虽然起伏较多，但整体仍处于上升阶段；富士以及丰田的申请量则是大起大落，上升阶段增幅很大，但紧接着便有大幅度的回落。

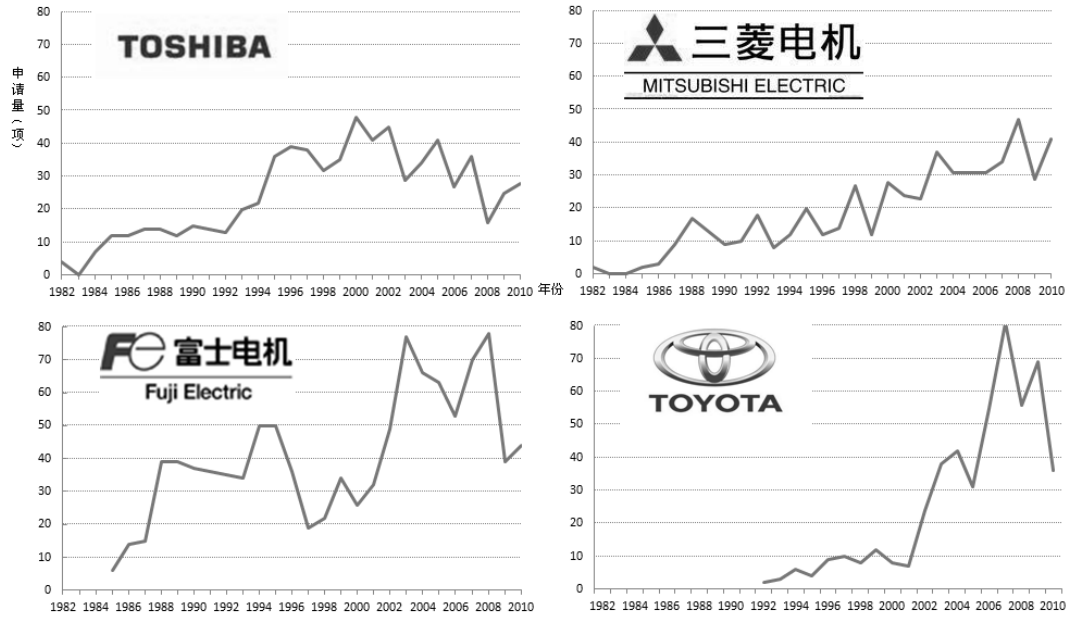


图 3-1-5 IGBT 全球主要申请人历年专利申请趋势

从图 3-1-6 可以看出这四家公司的专利布局也各有侧重，作为日本的本土公司，绝大多数的申请均会在日本提出，紧随其后的便是美国，东芝尤为明显，其在美国的申请量遥遥领先于除日本以外其它国家/地区；相比而言，三菱的专利布局范围更广且更加均衡，其在德国、韩国、中国的申请量均较大幅度地领先于东芝；而富士侧重于美国及德国的专利布局；多边申请量较少的丰田更注重在美国及中国的专利申请。

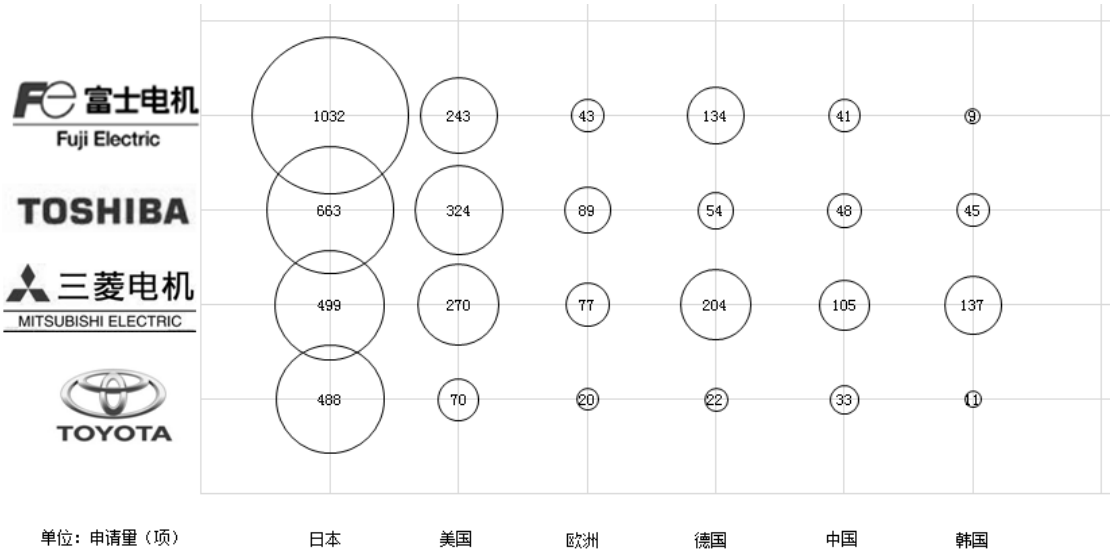


图 3-1-6 IGBT 全球主要申请人的专利布局

图 3-1-7 示出了主要申请人在各个技术分支的申请量情况，从图中可以看出，对元胞结构的改进一直是 IGBT 领域的重要技术点，各个主要申请人都在该技术分支中投入了大量的精力。而后各个申请人结合自身情况对其它技术分支有所侧重，例如富士的申请中涉及工艺的比例较大，三菱则更偏重于模块方面的专利申请。

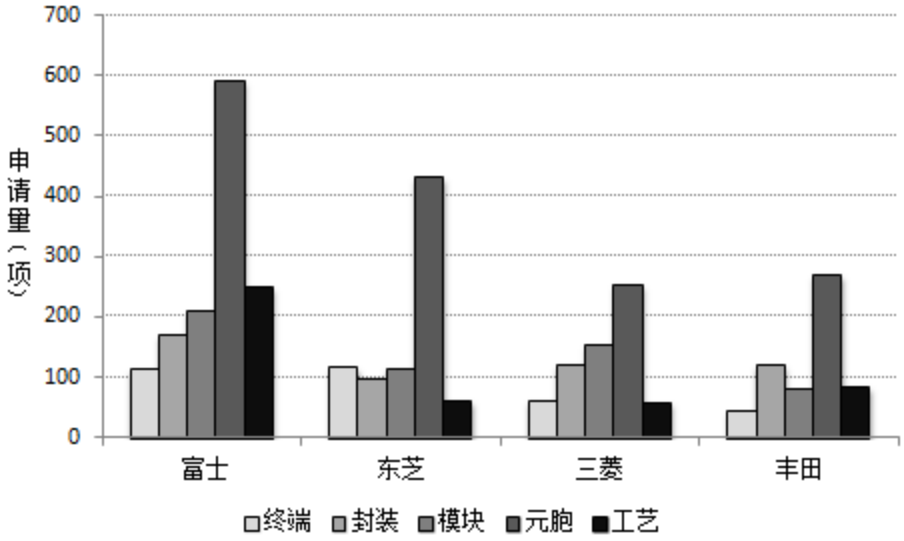


图 3-1-7 IGBT 全球主要申请人的技术构成

3.2 中国专利申请现状

截止到 2012 年 4 月 30 日，在 CPRS 数据库中，IGBT 领域在中国的专利申请量为 828 件，由中国申请人提出的专利申请为 281 件，国外申请人的专利申请为 547 件。

3.2.1 中国专利申请概况

IGBT 中国专利申请的具体分布状况如表 3-2-1。其中，国外申请以发明专利申请为主，达到 99.5%，仅有 3 件为实用新型，而中国申请中有 30.6%是实用新型专利申请，发明专利申请数量为 195 件，远远低于国外申请的 544 件。在发明专利申请中，国外的发明专利申请中 30%为 PCT 申请，对于具有较高质量的重要专利均会采取 PCT 申请的途径在全球进行布局；中国的发明专利申请中的 PCT 申请微乎其微，仅有浙江大学在 2011 年申请的 1 件 PCT 申请，由此可见国外申请人更加重视多边申请，重视在全球范围的专利布局。

应当注意的是，在目前的中国专利申请中的有效发明专利权共计 306 件，其中国外申请的有效发明专利权为 248 件，由此可见绝大部分有效发明专利均掌握在国外专利权人手中；中国申请的申请时间大多集中在近几年，其中 51.7%都处于未决状态，这也从一定程度上反映了目前中国申请人相对来说更为活跃一些。

表 3-2-1 IGBT 中国专利申请概况（单位：件）

	中国			国外		
	发明（非 PCT）	发明（PCT）	实用新型	发明（非 PCT）	发明（PCT）	实用新型
有效	55	0	79	171	80	3

失效	101	0	7	152	60	0
未决	38	1	0	58	23	0
总计	194	1	86	381	163	3

3.2.2 技术功效分析

为了解决相应的技术需求，研究者提出了各种各样的技术手段提高 IGBT 器件的特性，取得了不同的功效。在本节的分析中，从 IGBT 的中文数据中选取了发明的技术改进点在体区，沟槽栅和 RC-IGBT 这三方面的专利(总计标引的专利文献为 266 篇)进行技术功效的研究。

3.2.2.1 IGBT 结构的技术功效矩阵

图 3-2-1 为 IGBT 技术功效-矩阵图，是申请人在体区、沟槽栅和 RC-IGBT 这三个方面做出的技术改进以取得相应的技术效果，图中数字代表相应的结构中涉及相应技术效果的改进的专利申请的数量。图 3-2-2 为 IGBT 各技术功效的申请量随年代的变化图。

结合图 3-2-1 和图 3-2-2 进行分析，可以看出降低导通压降是申请人追求的最多的技术效果，并且随着年代的发展，申请量有大幅增长的趋势，作为在 VDMOS 器件基础上发展起来的 IGBT，增加的电导调制导致其导通压降的降低，低的导通压降是 IGBT 主要的优势，降低导通压降因此成了被申请人持续关注的技术热点。

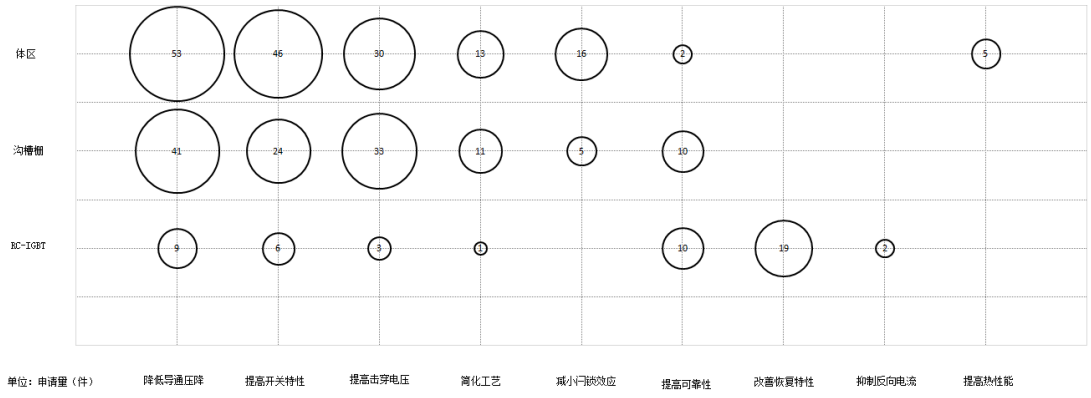


图 3-2-1 IGBT 技术-功效矩阵图

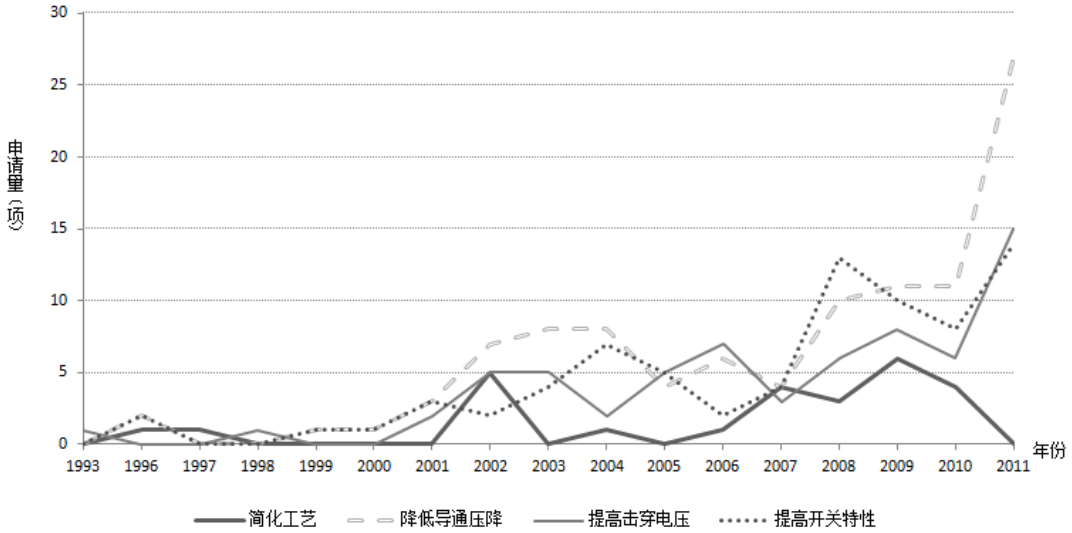


图 3-2-2 IGBT 各功效申请量随年代的变化图

提高开关特性包括缩短开关时间和降低开关损耗，都对 IGBT 的器件性能的提高有着重要的影响，提高开关特性方面的申请量也较大，虽然随着年代的变化申请量有所起伏，但总体态势呈现较快增长态势，申请人对于提高开关特性方面保持着持续的关注（参见图 3-2-1 和图 3-2-2）。

同时提高开击穿电压的申请量也很大，提高击穿电压对于 IGBT 在大功率领域的应用有着至关重要的作用，是研究者追求的重要目标，减少闩锁效应是针对 IGBT 的固有缺陷提出的技术目标，提高可靠性和简化工艺是产业化必不可少的追求。改善恢复特性是 RC-IGBT 特有的功效，是提高 IGBT 与二极管的集成性能必须解决的问题。

在上述的功效中，降低导通压降，提高开关特性，提高击穿电压是研究者研发的技术热点，简化工艺方面的申请量较小，是今后技术发展的一个突破点。近两年来申请量有一定的下滑趋势，随着 IGBT 的不断发展，申请量不断提高，在降低导通压降，提高开关特性，提高击穿电压等方面申请余地缩小的情况下，对工艺方面的申请必将加大（参见图 3-2-2）。

3.2.2.2 不同功效技术手段演化脉络分析

在本节中选取了几种代表性的技术功效，在不同技术功效方面绘制了技术手段演化图，并分析不同功效技术手段的演化脉络，其中选取的有体区在降低导通压降方面的技术手段演化，这是申请量最多的一个方面；沟槽栅在提高击穿电压方面的技术手段演化，提高击穿电压是解决沟槽栅带来电场集中引起击穿电压下降问题的重要目标；RC-IGBT 在改善恢复特性方面的技术手段演化，改善恢复特性是 RC-IGBT 主要的功效，以下将对选择的这三个重要的点进行分析。

1、体区在降低导通压降方面的技术手段演化分析

图 3-2-3 为体区在降低导通压降方面的技术手段演化图，在早期(1996 年)就出现针对导

通压降这一功效提出的专利，此时提出的技术手段是在半导体衬底内嵌入非导电的埋层结构，降低 p 掺杂的盆形区域内的空穴吸收效率。但在 2005 年之前，专利的申请量都不大，技术手段主要集中在在 N+缓冲层中设置 P+掩埋层作为分流器；在 P 型接触层与电极之间形成硅化物层；调节各层载流子浓度；形成多个 P 和 N 带；通过沟道使基区分成多个区域等，主要通过降低集电极接触电阻以及控制载流子的浓度和流通等手段降低导通压降。在这一时期，申请人除了北京工业大学是中国的申请人之外，全是国外的申请人。

在 2005 至 2007 年，体区在降低导通压降方面的专利申请量开始增加，技术手段主要集中于在集电极侧形成杂质激活率为 50%以下的杂质扩散层；调节衬底，缓冲层和外延层的厚度和电阻率；在半导体基板的背面侧形成沟孔等的开口部，与开口部的底部电连接形成漏极等。在这一时期，申请人全是国外的申请人。

在 2008 年至 2011 年，体区在降低导通压降方面的专利申请量大幅增加，技术手段更加多样化，主要有引入 PN 交替的结构；形成岛状的源极层；N 型漂移区与 P 型集电极区相接触的面为凸凹结构；在漂移区中引入连续或不连续的空穴阻挡层或浮空埋层等。在这一时期，申请人中出现了大量的中国申请人，以电子科技大学为首申请了较多的专利，其他还有上海华虹 NEC 上海宏力半导体。而这一时期，国外申请人的申请量相对较少。

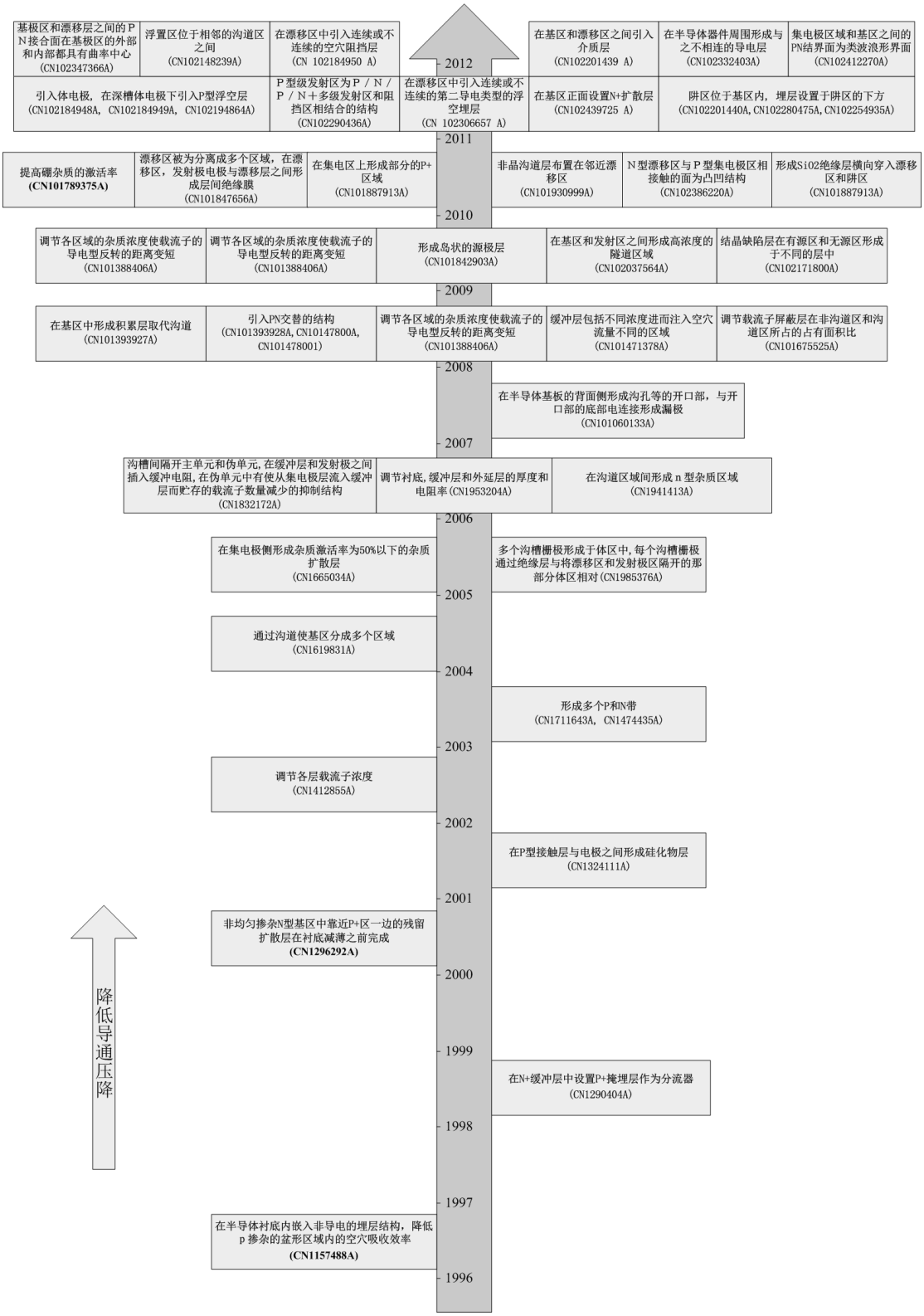


图 3-2-3 IGBT 体区在降低导通压降方面的技术手段演化图

2、沟槽栅在提高击穿电压方面的技术手段演化分析

由图 3-2-4 沟槽栅在提高击穿电压方面的技术手段演化图可以看出，在 2002 年之后技术手段开始增多，技术手段主要有沟槽底部的厚绝缘层将栅极与沟槽底部的漏极导电区隔开；在第一凹槽之下刻蚀更窄的第二凹槽，在上级电位下提供进入漏极漂移区的场板；在栅极沟槽下设置 P 浮置区，还形成与栅极沟槽具有不同深度的第一沟槽；在基区和源区之间形成 N 型口袋区域；形成环状栅沟槽；形成具有弯曲表面底部的沟槽等。主要的技术构思就是对沟槽底部及附近进行各种改进以消除或者减少沟槽加工带来的电场集中。

在 2008 年之后技术手段更加的多样化，主要的技术手段有沟槽栅的底部向下突起，抑制空穴在沟槽栅下集中；载流子存储型或积累层控制型引入 P 型浮空层改善槽栅底部的电场集中；在宽度宽的沟槽的侧壁上设置栅极，栅极被栅极绝缘膜和成为层间膜的厚的绝缘膜覆盖；将沟槽顶部拐角改善为圆角，得到没有浮动 p 层的小寄生电容栅极；沟槽结构的多个栅极电极沿着漂移区域与基极区域的边界设置以及沟槽结构的栅极电极在两个栅极电极之间沿着漂移区域与基极区域的边界设置，且与基极区域接触的长度比栅极电极与基极区域接触的长度短等。在这一时期，技术手段发展的更加微细和灵活，通过细小的改进以取得好的效果。

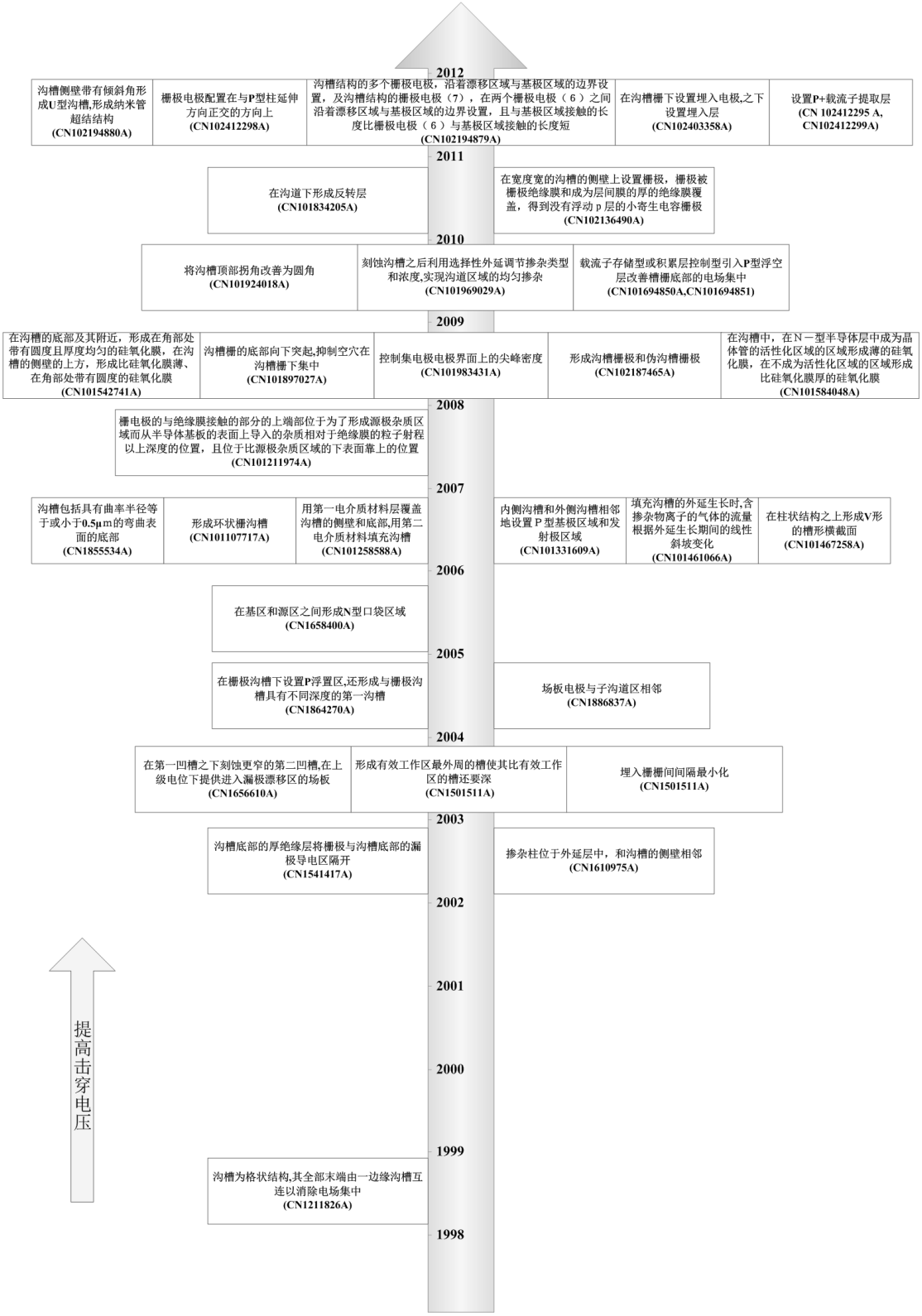


图 3-2-4 IGBT 沟槽栅在提高击穿电压方面的技术手段演化图

3、RC-IGBT 在改善恢复特性方面技术手段演化分析

恢复特性是影响芯片可靠性的重要因素，因此改善恢复特性是内置续流二极管的 RC-IGBT 器件的主要技术功效，RC-IGBT 在改善恢复特性方面的技术手段出现的年份相对较晚（参见图 3-2-5）。在这一年里的两篇专利其技术手段分别为：将关于宽度方向 X 的阴极 N+层和 P+集电极层的宽度的和设定为大于等于 50μ m至小于等于 200μ m的范围内；形成阱状的 P 基区层，在其正下方的背面一侧部分中形成集电区 P+层以及阴极 N+层，各个 IGBT 单元的 P 基区层具有 1 ）由主沟槽贯通其底部且具有发射区 3 的平坦区 2）把平坦区夹在中间的第 1 以及第 2 侧面扩散区。这两篇专利的申请人都为三菱，是该领域的重要专利。

随着年代的发展，技术手段有着稳步的增长，但 RC-IGBT 目前仍处于研发阶段，虽然申请量相对仍然较少，但也表明了企业在产业化之前进行了早期的专利布局。目前 RC-IGBT 在改善恢复特性方面主要的技术手段有 IGBT 区和二极管区互相并列配置，多个 IGBT 区和二极管区作为一体形成单元区，在单元区的周围形成外围区；调节二极管区空穴或电子的注入效率；调节各层电阻率与厚度之间的关系；维持 N 型集电区及其上方 N-漂移区的高阻特性；P 型基极区域和 N+型负极区域之间的电阻大于 P 型基极区域和 P+型集电极区域之间的电阻等。

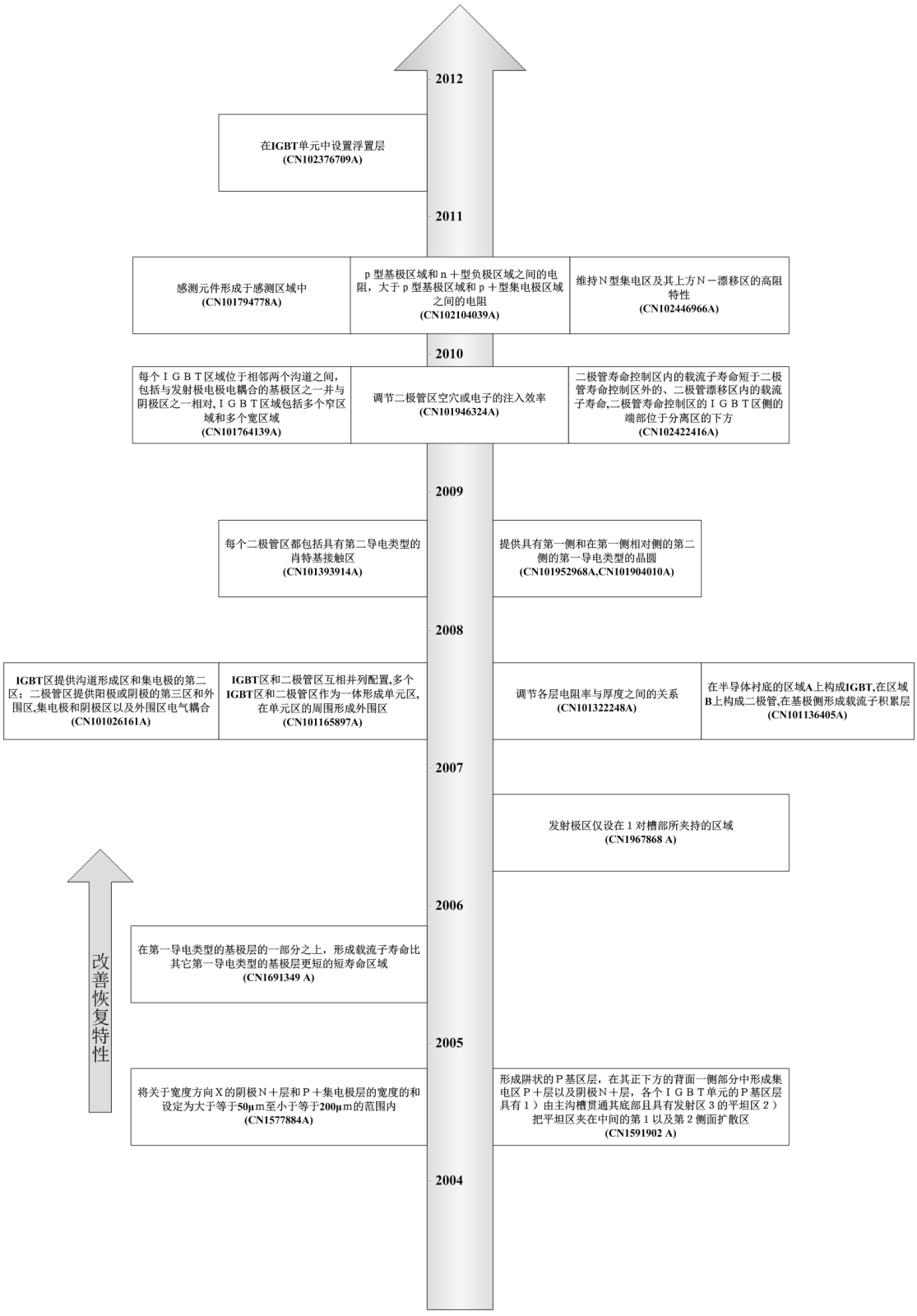


图 3-2-5 RC-IGBT 在改善恢复特性方面的技术手段演化图

第4章 SiC 器件专利申请分析

随着电力、能源、航天、航空、军事、核能、通讯等领域的迅猛发展，对半导体功率半导体器件的性能也就提出了更高的要求。以硅（Si）、砷化镓（GaAs）材料为基础的传统半导体功率半导体器件已经发展到其理论的极限，使得其在上述领域的应用已显得“捉襟见肘”。寻求可用于高温、高频、大功率、抗辐照等方面的新型半导体材料就成为近十年以来微电子领域中研究热点之一。在众多的半导体材料中，碳化硅(SiC)、氮化镓（GaN）以其良好的物理和电学性能成为继锗、硅、砷化镓之后新一代微电子器件和电路的半导体材料。

与传统半导体材料 Si、Ge 及 GaAs 相比，SiC 材料具有优良的物理化学性质和电学性质，如禁带宽度大、临界击穿电场高热导率大、电子饱和漂移速度高等。SiC 材料的禁带宽度是 Si 和 GaAs 的 2~3 倍，这使得其器件能在相当高的温度下（500℃以上）工作以及具有发射蓝光的能力；高的饱和电子漂移速度和低介电常数决定了器件的高频、高速工作性能；临界击穿电场比 Si 和 GaAs 均要高一个数量级，这决定了器件的高压、大功率性能；热导率分别是 Si 的 3.3 倍和 GaAs 的 10 倍，这意味着其导热性能好，可以减少冷却散热系统，从而大大减小了整机的体积。此外 SiC 具有很高的临界移位能(Threshold Displacement Energy，45~90ev)，使它具有强的抗电磁波冲击（Electro-Magnetic Pulse）和抗辐射能力[1]。

鉴于 SiC 的优越的材料特性，SiC 材料被称为未来材料。SiC 器件在高温、高频、大功率、抗辐射等方面的应用倍受青睐，同时适于在恶劣条件下工作[2] 。

尽管 SiC 材料具有诸多优势，然而其性质也与技术成熟的 Si 基技术有着重要的差别。这种差别使得不能将硅基工艺简单的移植到 SiC 工艺中。不仅如此，即便是相同的结构，在工艺上也存在着诸多困难。

首先：理论上，C 中的杂质离化能较大，即使在略高于常温的温度下，杂质也不会完全离化，而杂质的离化程度与器件的电学参数有着密切的关系；SiC 中载流子迁移率的各向异性明显，并且各种 SiC 多型以及各种 SiC 器件中载流子的输运又有许多特殊性，因此对于准确分析 SiC 器件的基本特性，以及对 SiC 器件的设计和优化来说，都需要一种能够描述其物理机制的更精确的物理模型。目前对 SiC 的研究一般还都采用着和 Si 一样的思路和方法，并且 SiC 的一些基本材料参数的确定还没有一个定论，这势必会给研究结果带来一定程度的误差。

[1]宋庆文. 4H-SiC 高压肖特基二极管及终端技术研究[J]. 信息科技辑. 2010 年第 11 期: 1135~70

[2]金锐等. 基于碳化硅的大功率电力电子器件[C]. 第三届电能质量及柔性输电技术研讨会论文集. 220~225

其次：工艺上，SiC 单晶衬底的制备存在技术难度。SiC 衬底的生长容易产生微管缺陷，微管密度过大的衬底无法用来生产器件。如何经济地、大批量生产低缺陷大尺寸(大于 2 英寸)单晶以降低成本，以及进一步改善和提高外延层掺杂，厚度均匀性和表面形貌等是 SiC 单晶衬底发展要解决的核心问题。此外 SiC 作为一种新型的半导体材料，其生长工艺、缺陷等都有其独特的性质，这也决定了它的测量具有自身的特点，其参数的表征不仅是其质量的标志，也是工艺控制的重要依据。因此如何正确地测试与表征 SiC 材料的性能是一个急需解决的问题。SiC 的一些关键工艺，如选择性优良的刻蚀方法、氧化、欧姆接触等也有待改进。综上可知材料和工艺方法问题的解决是制造 SiC 器件的基础[1]。

目前 SiC 单晶衬底的制备在降低微管缺陷上已经有了一定地突破。4 英寸的产品已逐渐成为主流，6 英寸的产品已经开始样品供货[2]。SiC 工艺方法上，对于欧姆接触、氧化、钝化工艺的研究都有了一定的深度并取得了巨大的进步。

2001 年，英飞凌首先推出了商用的 SiC 肖特基二极管，其工作电压为 300V~600V（12A）。随后，2002 年克里公司推出了 600V~1200V(20A)的产品。目前，意法半导体、飞兆、罗姆等公司也已经涉足 SiC 二极管业务。

在 MOS 器件方面，罗姆公司在 2010 年底也宣布了进行 SiC MOSFET 器件的量产。克里公司在 2011 年初，推出了 10kv 的 SiC MOSFET 器件。SiC 功率半导体器件的市场已经打开，并有待进一步发展。

4.1 全球专利申请现状

截至 2012 年 4 月 30 日，关于 SiC 功率半导体器件的全球专利申请量为 2078 项。其中中国申请人首次申请为 59 项，国外申请人首次申请为 2019 项。下面将从申请趋势、技术构成、首次申请国家/地区以及申请人等方面对 SiC 功率半导体器件的申请状况进行了说明。

4.1.1 技术生命周期分析

技术生命周期从基础科学或应用科学衍生发展而来，将之应用于产品开发与设计上，从该项产品导入市场后，直至该项产品退出整个市场的一段时间[3]。后来，也采用专利数据进行技术生命周期的分析，并形成了指标评价法、数学模型法等分析方法。基于专利数据进行

[1] 陈洪波. 4H-SiC Cnpn 双极晶体管特性研究[J]. 科技信息辑 2007 年第 5 期:1135~101

[2] 日经. 新一代功率半导体崭露头角. http://china.nikkeibp.com.cn/news/mech/61319-20120604.html. 2012-10-20

[3] 赖佳宏．薄膜电晶体液晶显示器(TFT-LCD)产业之技术发展趋势研究——以专利分析与生命周期观点[D]．台湾中原大学，2003．

技术生命周期的分析越来越得到大家的认可，这是由于：首先，专利包含许多隐性技术知识，透露出技术的发展脉络。其次，专利能揭示技术的商业潜能，因为专利申请的前提是商业应用的可能。第三。基于专利申请数据的技术生命周期分析比产品生命周期分析早。最后。专利申请可以通过专利数据库获得，容易且客观地衡量[1]。

指标评价法是提出一系列技术生命周期评价指标，通过具体专利申请类型以及申请和/或授权状况的变化，确定指标的变化趋势，从而直观地反映技术的发展状况，推测技术的未来走势，揭示该项技术发展的生命周期。数学模型法是通过现有专利申请和/或授权的情况与待定参数的数学模型进行匹配、拟合，获得该数学模型参数的近似合值，实现对该技术专利申请和/或授权的发生、发展、成熟以及饱和（终结）的预测。

下面将分别对指标评价法和数学模型法进行具体的说明，并利用指标评价法和数学模型法分别对 SiC 功率半导体器件的技术生命周期进行分析。

4.1.1.1 指标评价法

常用的指标评价法，一般通过技术生长率(ν)、技术成熟系数(α)、技术衰老系数(β)以及新技术特征系数(N)等指标评价一项技术的生命周期。各个指标的定义及说明详见表 4-1-1。由表 4-1-1 中指标的定义及说明可知，各指标参数利用最近一年或 5 年的专利申请或授权数量对当前技术的成熟度和衰老度进行测算，其对现有情况的判断更明确，而仅对未来几年发展趋势预测的角度，其不能产生相对明确的趋势显示。

表 4-1-1 技术生命周期指标评价法指标的定义及说明[2]

指　标	公　式	定　义	说　明
技术生长率 ν	$\nu=\alpha/A$	某技术领域发明专利申请或授权量占过去五年该技术领域发明专利或授权总量的比率 随着技术的日趋成熟，ν 将趋于稳定值	α 为该技术领域当年发明专利申请或授权量； A 为追溯到五年的该技术领域发明专利申请累积量或授权累积量； b 为该技术领域当年实用新型申请或授权量； c 为该技术领域当年外观设计专利申请或授权量。
技术成熟系数 α	$\alpha=a/(a+b)$	某技术领域发明专利申请或授权量占该技术领域发明专利和实用新型专利申请或授权总量的比率 技术成熟度越高，α 值将越小	
技术衰老系数 β	$\beta=\dfrac{a+b}{a+b+c}$	某技术领域发明和实用新型专利申请或授权量占该技术领域发明专利、实用新型和外观设计专利申请或授权总量的比率。 β 值越小，技术衰老速度越慢，技术成熟度越高	
新技术特征系数 N	$N=\sqrt{\nu^2+\alpha^2}$	由技术生长率和技术成熟系数推算得出。 N 值越小，新技术特征越弱，技术成熟度越高	

SiC 功率半导体器件的申请量以及技术生命周期的各指标的值如表 4-1-2 所示。20 世纪

[1] 李春燕. 基于专利信息分析的技术生命周期判断方法[J]. 现代情报. 2012. Vol.32 No. 2:98-101

[2] 肖沪卫主编. 专利地图方法与应用[M]. 上海. 上海交通大学出版社. 2011

90 年代，其生长率基本处于较高的水平，到 2001 年成长率有一次大幅提升，随后生长率在 22%左右，到 2009 年稍有减小的趋势。考虑到 2009 和 2010 年的申请还有部分没有被公开，因此这两年的申请量不能作为实际申请量，同时其所体现的减小的趋势目前还不能直接认为是技术成长率的降低。从技术成熟度系数来看，其基本保持为 1，成熟度比较低。从新技术特征系数来看，其虽然有下降，但下降幅度非常小，从 1.05 下降到 1.00。

表 4-1-2 SiC 功率半导体器件指标评价

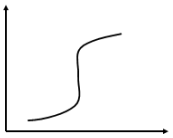
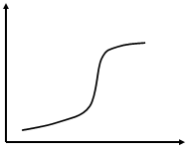
年份	年申请量（项）	技术生长率	技术成熟系数	新技术特征
1973	5			
1974	1			
1975	0			
1976	0			
1977	3	0.3333	1.0000	1.0267
1978	0	0.0000	0.0000	0.0000
1979	1	0.2500	1.0000	1.0153
1980	0	0.0000	0.0000	0.0000
1981	2	0.3333	1.0000	1.0267
1982	1	0.2500	1.0000	1.0153
1983	1	0.2000	1.0000	1.0099
1984	4	0.5000	1.0000	1.0574
1985	1	0.1111	1.0000	1.0031
1986	12	0.6316	1.0000	1.0875
1987	11	0.3793	1.0000	1.0342
1988	10	0.2632	1.0000	1.0169
1989	12	0.2609	1.0000	1.0166
1990	6	0.1176	1.0000	1.0034
1991	19	0.3276	1.0000	1.0258
1992	21	0.3088	1.0000	1.0230
1993	40	0.4082	1.0000	1.0393
1994	32	0.2712	1.0000	1.0179
1995	48	0.3000	1.0000	1.0218
1996	51	0.2656	1.0000	1.0172
1997	56	0.2467	1.0000	1.0149
1998	87	0.3175	1.0000	1.0243
1999	69	0.2219	1.0000	1.0121
2000	69	0.2054	0.9855	1.0033
2001	148	0.3458	1.0000	1.0286
2002	107	0.2234	1.0000	1.0122
2003	122	0.2374	1.0000	1.0138
2004	141	0.2406	1.0000	1.0142
2005	142	0.2152	1.0000	1.0114
2006	174	0.2526	0.9943	1.0128
2007	174	0.2314	1.0000	1.0131
2008	180	0.2222	1.0000	1.0121
2009	165	0.1978	1.0000	1.0096
2010	147	0.1732	0.9864	1.0007

从技术生长率的变化来看，出现了几次生长率的急剧增加，可能是技术突破带来的申请量的增加。整体看来，SiC 功率半导体器件的技术还处于成长期，技术还有一定的发展空间。

4.1.1.2 数学模型法

数学模型一般为 S 曲线模型。专利的 S 曲线技术生命周期是基于技术扩散理论，利用专利信息的持续性以及技术信息的代表性，而形成的关于技术发展现状的说明以及对技术发展未来的预期。常用的 S 曲线数学匹配模型为 Gompertz 模型与 Logistic 模型，两个模型均可用于描述经济、技术活动规律，增长率大于零，都存在唯一一个拐点和水平渐近线。表 4-1-3 示出了 Logistic 模型和 Gompertz 模型及其参数等信息。

表 4-1-3　S 形曲线数学模型[1]

种　类	Logistic 模型	Gompertz 模型
数学模型	$y=\frac{L}{1+\alpha e^{-\beta t}}$	$y=\frac{L}{e^{\alpha e^{-\beta t}}}$
图　形		
模型性质	$y(0)=\frac{L}{1+\alpha}$ $y(\infty)=L$ $T_{1/2}=\frac{\ln\alpha}{\beta}$	$y(0)=\frac{L}{e^{\alpha}}$ $y(\infty)=L$ $T_{1/2}=\frac{\ln(a/\ln 2)}{\beta}$
适用类型	适合具有明显、快速成长率的技术生命周期预测	适合技术成熟老化模式的预测
参数说明	y：预测值；T：时间变量；L,α,β：模型待估参数；L：自然极限即饱和值；β：增长速度因子；单位为$1/T$；α：无因次参数	

采用如下的步骤，利用数学模型法对 SiC 功率半导体器件的技术生命周期进行分析。

1、模型的选择

根据表 4-1-3 所示，Logistic 模型适合具有明显、快速成长率的技术生命周期预测，根据表 4-1-2 得出的技术成长率来看，SiC 功率半导体器件的技术还属于技术成长期，因此选用 Logistic 模型来进行预测。

2、工具的选择

Logistic 模型有三个待匹配参数。模型参数确定方法众多，如章元明等阐述了 16 种

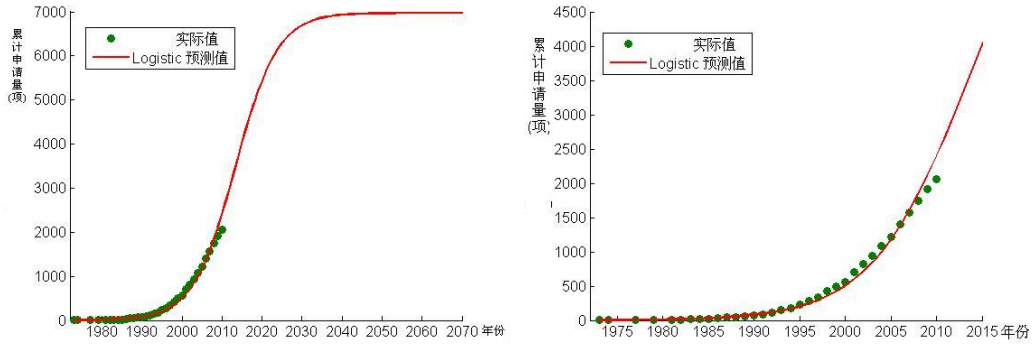
[1]肖沪卫主编. 专利地图方法与应用[M]. 上海. 上海交通大学出版社. 2011

Logistic 方程参数的估计方法。同时，模型参数匹配的分析软件较多，如 Excel、Mathematica、Matalb 等软件编程辅助计算，或者采用 SPSS 软件曲线拟合法等。

为较为快捷、准确的获得模型参数匹配，将不同的编程软件进行比较。这里从模型的求解精度以及方便程度出发，仅对 Matlab、Mathematica、SPSS 三个分析软件进行分析。对 Matlab 仿真软件使用非线性最小二乘回归命令(nlinfit)，对 Mathematica 仿真软件使用非线性逼近命令(FindFit)，以及对 SPSS 软件使用非线性回归(Nonlinear Regression)分析获得了基本一致的结果，因此，出于便利性以及后续操作的方面考虑，采用 SPSS 软件进行分析。

3、Logistic 模型的曲线回归分析

采用文献[1]的灰色系统 GM(1，1)模型建模方法与 SPSS 软件中曲线回归法(Curve Estimation Regression)拟合 Logistic 模型曲线，获得预测模型的 3 个预测值，$L=6972.356$，$\beta=0.1906$，$\alpha=2666.368$，$R^2_{Logistic}=0.988$。



(a) (b)

图 4-1-1 SiC 功率半导体器件全球申请的基于 SPSS 软件的 Logistic 模型曲线回归分析
(a) 为曲线回归分析曲线图，(b) 为数值拟合部分示意图

由图 4-1-1 所示，以 Logistic 模型曲线进行预测，拐点$T_{1/2}=\frac{\ln\alpha}{\beta}=41.388$，约为 2015 年左右。预测在 2025 年左右进入到累计专利数的成熟饱和期，预测饱和值约为 7000 项左右。

当然数学模型的预测，只是以一般的数据规律来拟合技术未来的发展趋势，由于不能预测技术的突破以及经济、政治等原因，其得出的数值仅作为对近期技术的一个粗略预测。从该预测结果来看，最近 3 年内，SiC 功率半导体器件的技术的申请依然会持续增加，其未来技术的发展可能继续持续 10 几年的时间，因此作为后进入该领域的中国申请人，还有机会找到合适的切入点，在该领域有一番作为。

[1]章元明. 盖钧镒. Logistic 模型的参数估计[J]. 四川畜牧兽医学院学报. 1994. 2(8)：47-52

4.1.2 技术构成分析

二极管、FET（场效应晶体管）器件、双极型开关器件以及 IGBT 器件是 SiC 功率半导体器件中的最常见的四种器件类型。本节以这四个器件为技术构成分支，对各技术分支的国家分布以及申请量年变化趋势进行分析。

图 4-1-2 示出了四种类型功率半导体器件专利申请的构成比例以及各首次申请国在各技术分支的申请情况。FET 器件作为热点研究对象，其申请量最大，占总量的 52%；二极管器件的申请量次之，占总申请量的 23%；IGBT 器件作为最新研究的器件，其在耐压超过 10000V 的情况下才具有优势，目前申请量不大，占总申请量的 14%；其余的为双极型器件，占总申请量的 11%。

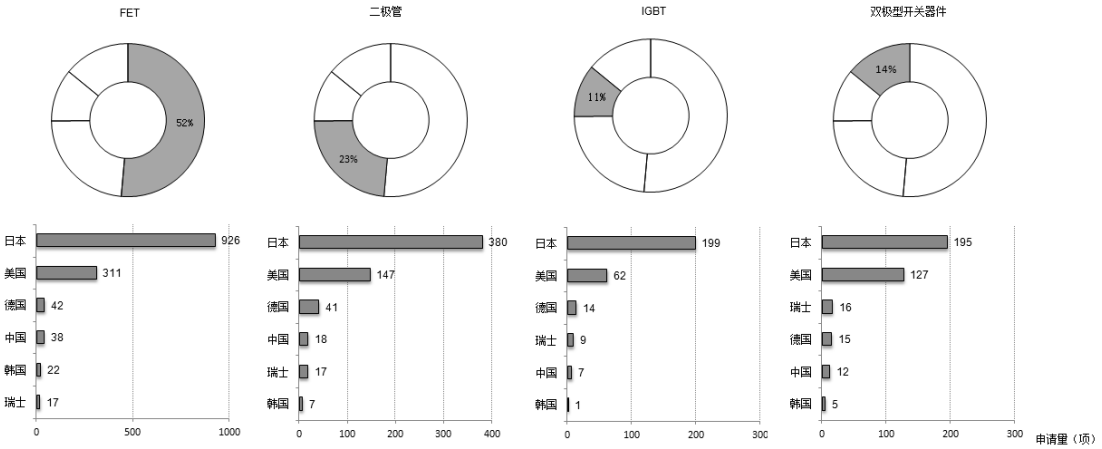


图 4-1-2 SiC 功率半导体器件全球专利申请技术构成比例及首次申请国分布

从国家分布上看，日本申请人在各个技术分支的申请量都位于第一位，其次均为美国申请人，德国申请人位于第三位。三个国家的申请总量分别占据 FET 器件，二极管器件，IGBT 器件以及双极型开关器件的申请量的 91%、88%、90%和 87%。可以认为，SiC 功率半导体器件的技术集中掌握在日本、美国和德国申请人手中。

日本申请人在 FET 器件上的申请量远远高于位于第二位的美国申请人，是美国申请人申请的近 3 倍，可见其在 FET 器件上的研发投入和对市场的预期程度。在 FET 器件上，日本的罗姆，富士，三菱等公司，从 2002 年开始，纷纷加大投入，力求量产。这与其在 FET 器件上的大量申请是相对应的。德国和中国申请人的首次申请申请量分别排在第三和第四位。德国的申请人数量少，最主要的申请人是西门子和英飞凌，但德国申请人对 FET 器件的研究时间较长，其最初的相关申请可追溯至 1992 年。中国申请人开始进行相关的研究和申请时间比排在前 3 位的国家晚许多，从 2003 年才开始有相关申请，2010 年申请量达 11 项，2011 年提出的申请目前已经公开的已经达到 6 项。

二极管器件的应用领域比较广泛，其也常常与场效应器件或 IGBT 器件结合作为快速恢

复二极管使用，以提高场效应或 IGBT 开关器件的性能。其技术难度相对场效应器件低。二极管技术是相对比较成熟的 SiC 功率半导体器件技术。日本申请人在 2001 年之后，对二极管器件的申请量呈持续增长的态势，而美国申请人在 2001 年出现申请高峰后，申请量呈波动状态，并且不再有上升的趋势。可见，日本申请人在德国、美国申请人在 2001 年和 2002 年相继推出系列产品后，一直持续着对 SiC 二极管的研究，力图在该领域取得一定的市场份额。目前，日本申请人中，罗姆，三菱，富士等都已推出了 SiC 二极管器件产品。

4.2 MOSFET 栅氧化膜技术分析

MOSFET 器件作为目前的研究热点器件，相对于硅 MOSFET 器件具有明显的优势。理论分析还表明，用 6H-SiC 和 4H-SiC 制造功率 MOSFET，其通态比电阻可以比同等级的硅功率 MOSFET 分别低 100 倍和 2000 倍[1]。一般而言，采用 SiO_2 等氧化物作为 MOSFET 器件的栅氧化层。然而，在实验中发现 4H-SiC MOSFET 器件反型层沟道中的载流子迁移率很低，甚至比 6H-SiC MOSFET 器件还低。Schorner 等人认为[2]价带以上 2.9eV 处大的界面态是导致器件沟道迁移率较小的原因。简单的在 SiC 表面生成由 SiO_2 形成的界面不足以获得电子的高表面迁移率。降低 SiC、SiO_2 之间界面态密度，提高电子的表面迁移率是 SiC MOSFET 重要的技术之一。

4.2.1 发展路线分析

2000 年以前，SiC MOSFET 器件的栅氧化膜的研究方向比较零散，包括对界面态的处理（主要是 H_2 和惰性气体退火处理）、提高击穿电压（CN1213485C）以及氧化膜的致密化（US5972801A）等。2000 年之后，氧化膜的氮化工艺成为主流，利用 N 堆积在 SiC/SiO_2 界面上钝化或消除界面上的缺陷。除氮化工艺外，H_2 对界面态的终结以及其他形成氧化膜的方式也在不断被尝试。图 4-2-1 示出了根据主要专利梳理的 SiC MOSFET 器件的技术路线图。下面将分别进行说明。

1、氮化工艺

2000 年，关于热氧化氧化物在 NO 气氛下退火，提高 SiC MOSFET 迁移率的文章（如：High Mobility 4H-SiC inversion Mode MOSFETs Using Thermally Grown， NO Annealed SiO_2，M. K. Das， L. A. Lipkin 等）的出现，给 SiC MOSFET 器件的栅氧化层的形成方法提供了

[1] 金锐等. 基于碳化硅的大功率电力电子器件[C]. 第三届电能质量及柔性输电技术研讨会论文集. 220-225

[2] Reinhold Sch rner， P. Friedrichs，et al. Significantly Improved Performance of MOSFET's on Silicon Carbide Using the 15R-SiC Polytype[J]. IEEE Electron Device Letters. 1999 20(5): 241

一个到目前为止的最佳方式。申请人的研究方向就此迅速开始集中起来，对氧化膜的氮化工艺的研究迅速成为了热点和重点。

奥本大学的专利申请 US2008128709A1 和 US6939756B1，申请日都为 2000 年 3 月 24 日。提出了降低 n 或 p 型掺杂 SiC 与 SiO_2 界面的界面态密度方法，即形成氧化层，采用含氮气体退火。这两个专利的发明人即为文章 High Mobility 4H-SiC inversion Mode MOSFETs Using Thermally Grown，NO Annealed SiO_2 的作者。申请 US6939756B1 要求保护一种制造半导体器件的方法，包括如下步骤：在 SiC 衬底上形成一层二氧化硅层，以形成具有表面态密度（interface trap density）的 SiO_2/SiC 界面；在 SiO_2/SiC 界面整合引入 N 以降低界面态密度，其中 SiC 衬底是 n 型掺杂的 4H-SiC 衬底。该申请给出了采用干氧氧化，在 NO、常压、1000~1200℃环境下退火。

同年，克里公司提出了多件申请（WO2002/1029874A1，WO2002/084727A1，US6610366B2，US2002/0072247A1 等），申请日均为 2000 年 10 月 3 日，提出了采用 N_2O 或 NO 对 SiC 表面氧化膜进行氮化处理的技术，以降低界面态，大幅度提高沟道载流子的迁移率。申请 WO2002/1029874A1，其要求保护一种在碳化硅层上制造具有碳化硅层和氧化物层的碳化硅结构的方法，方法的特征在于：利用预定温度分布和流速分布在包括 N_2O 的环境中退火已有氧化物，预定温度分布包括大于约 1100℃的退火温度，流速分布包括提供至少约 11 秒的 N_2O 初始驻留时间的流速；或利用预定温度分布在 N_2O 环境中氧化碳化硅层，预定温度分布包括至少约 1200℃的氧化温度。在该系列申请中，引用了 2000 年在 IEEE 公开的关于采用 NO 环境中热氧化物退火对于 SiC/SiO_2 界面态改善以及在 MOSFET 器件应用的研究（3 篇），以及关于 N_2O 环境进行氧化膜生长的可能性的研究（2 篇）。

氮化工艺主要集中在氮化方法的改进，包括氮化的方式，如 JP2006156478A（三菱，2004 年[1]）提出先氮化 SiC 表面，再形成氧化层，之后在 NO 或 N_2O 气氛下退火；JP2005223003A（三菱，2004 年），提出采用 O_2 热氧化，再在 NO 或 N_2O 气氛下退火，之后在湿 O_2 下热处理；WO2007004595A1（日产汽车/罗姆，2005 年）提出采用非热氧化的方式形成氧化膜，然后在温度保持在 900~1200℃之间的含氮气体环境中的标准大气压下退火；JP2007201343A（三菱，2006 年）提出在 O_2 和 H_2O 气下形成氧化膜，再采用 NO 或 N_2O 进行退火；CN101336473A（住友，2006 年）提出采用等离子体进行氮化处理；US7820558A（东京大学，2006 年）提出采用等离子体氧化 SiC 表面，再采用等离子体氮化处理氧化膜；CN101807527A（中国电子科技集团第十三研究所，2010 年）提出了采用 HNO_3 对氮化的氧化层进行进一步的氮化，以控制界面态。

为了提高生产效率，WO2003047000A1（松下，2001 年）提出控制形成薄氧化层的厚度，之后形成氮化层，采用 CVD 法形成氧化层，再形成氮化层，从而形成 ONON 叠层作为

[1]本节括号中的年指专利申请的最早优先权日所在的年份。

栅氧化层（其中氮化层也起到盖层的作用）；CN10152727B（NXP，2006 年）提出采用碱金属作为催化剂，提高含氮气体的氧化效率；JP2007049099A（三菱，2008 年）提出在薄热氧化膜上采用物理气相沉积的方法形成氧化膜。

为了提高栅氧化膜的可靠性，控制氧气的扩散。WO2003047000A1（松下，2001 年）提出在氮化化膜上形成盖层，再形成氧化层的技术方案；JP2010251589A（三菱，2010 年）提出在 SiC 表面形成 SiON 层，再形成抗氧化扩散层，抗氧化扩散层材料可以为 SiN、Al2O_3、Cr_2O_3、TiO_2、ZrO_2 或 Ta2O_5；JP2011146580A（三菱，2010 年）提出在氮化过程中加入 CO，以防止 N_2O 自分解产生的 O_2 的影响。

为了降低界面态，选择新的掺杂气体，除利用 N 降低界面态外，还提出了掺杂 P 来降低界面态，如 CN100472736C（松下，2003 年）提出氧化膜在 V 族气体环境下退火，并提出了具体的温度和压力，所述的 V 族气体包括 NO，N_2O 之外，还包括 PH_3；WO2011074237A1（UYNA-N，2009 年）提出在氮化的同时在气体气氛中掺杂 $POCl_3$ 以在氧化膜中掺杂 P。

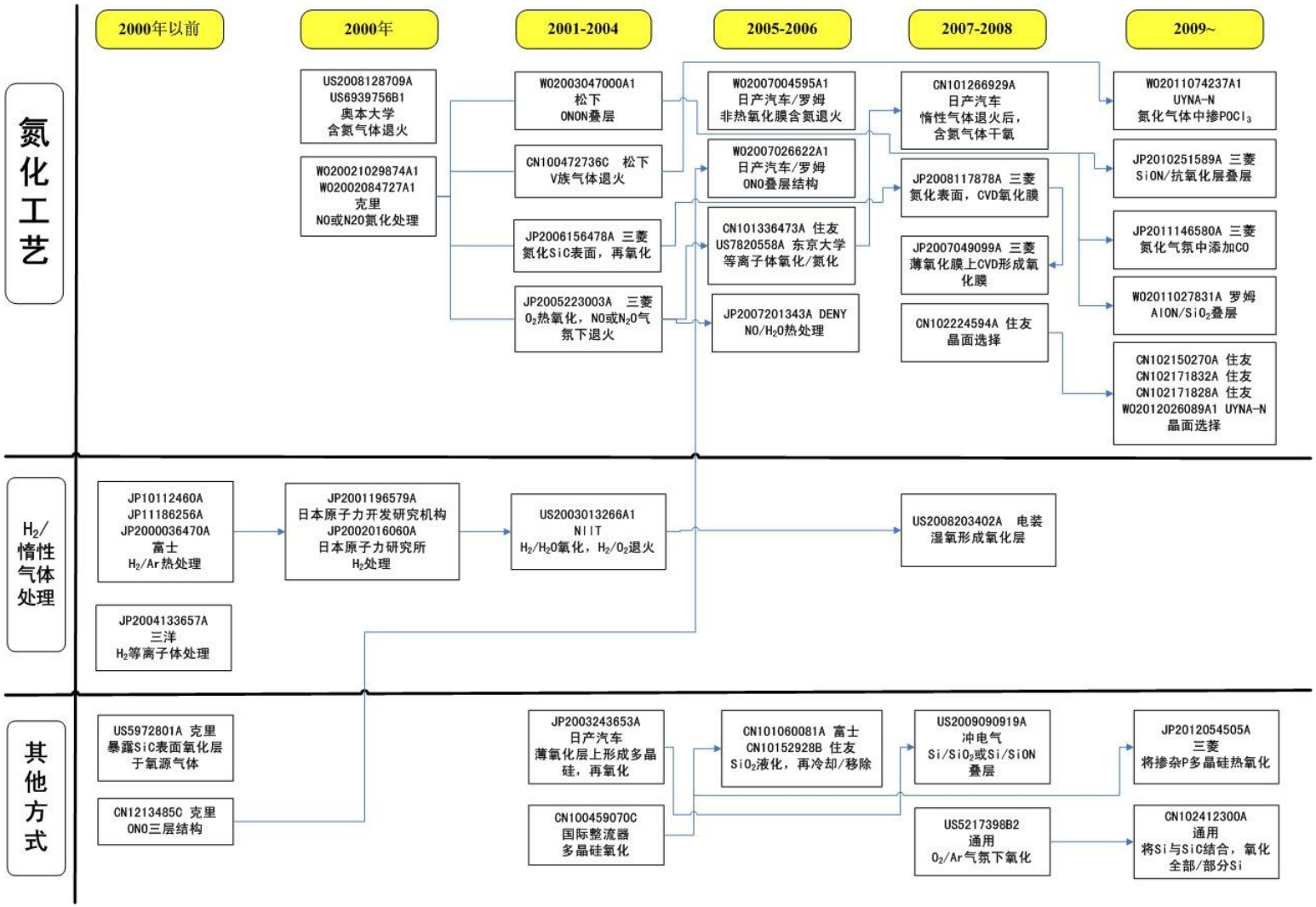


图 4-2-1 SiC MOSFET 栅氧化膜技术发展路线

为了提高介质膜的击穿寿命，WO2007026622A1（日产汽车/罗姆，2005 年）提出了采用 ONO 叠层结构，其中第一层氧化膜为氮化处理过的氧化膜，氮化膜为 LPCVD 法形成的氮化膜，第二层氧化膜为对氮化膜表面进行氧化处理得到的。

为了降低栅极泄流电流，WO2011/027831A1（罗姆，2010）提出在氮化的氧化硅上层叠 AlON 层。

为了提高载流子迁移率，对晶面进行选择。CN102224594A（住友，2008 年）以及 CN102150270A、CN102171832A 和 CN102171828A（住友，2009 年），其主要研究了相对于{0001}表面具有大于等于 50°，小于等于 60°的偏离角的晶面的氧化、氮化工艺，指出采用这样的晶面，可以进一步提高载流子的迁移率；WO2012026089A1（UYNA-N，2009 年）提出选择相对于{11-20}晶面朝向[000-1]方向偏离角为 10~20 度或相对于{000-1}晶面朝向<11-20>方向偏离角为 70~80 度。

2、H_2/惰性气体处理技术

H_2/惰性气体主要也是降低界面态。如：富士 1996 年的申请 JP10112460A、1997 年的申请 JP11186256A 和 1998 年的申请 JP2000036470A，采用包含 H_2 和 Ar 的混合气体在 800~1200℃进行热处理；三洋在 1998 年的申请 JP2000133657A，采用氢等离子体进行处理，以降低界面态；日本原子力开发研究机构(JAPAN ATOMIC ENERGY AGENCY)和日本原子力研究所（JAPAN ATOMIC ENERGY RES INST）于 2000 年的申请 JP2001196579A 和 JP2002016060A，通过 H_2 处理降低界面态；NIIT 于 2003 年提出的申请中，对（11-20）晶面采用 H_2 和 H_2O 氧化形成氧化膜，再在 H_2 和 O_2 气氛下热处理；电装 2007 年的申请 US2008203402A 中提出对（000-1）晶面采用湿氧形成氧化层，在水汽或 H_2 环境下退火处理。

3、其他方式

(1) 借助多晶硅或硅来形成氧化硅，以避免直接热氧化 SiC 带来的界面态影响。日产汽车 2003 年的申请 JP2003243653A 中提出在薄氧化层上形成多晶硅，再对多晶硅进行氧化，形成氧化层；国际整流器于 2003 年提出申请 CN100459070C，对多晶硅进行氧化，形成氧化膜；富士于 2006 年提出申请 CN101060081A 中，在 SiC 表面形成 SiO_2，将 SiO_2 液化，再在 Ar 气氛下冷却，形成氧化膜；住友于 2006 年的申请 CN10152928B 中提出将 SiC 表面的 SiO_2 液化后移除，再氧化形成氧化膜；冲电器 2007 年的申请 US2009090919A 提出在 SiC 衬底表面形成 Si/SiO_2 或 Si/SiON 叠层作为栅氧化层；三菱 2010 年的申请 JP2012054505A 提出在 SiC 衬底表面形成掺杂 P 的多晶硅层，再在 700-1400℃热氧化形成氧化膜；通用 2010 年的申请 CN102412300A 提出将 Si 与 SiC 键合，氧化全部或部分 Si，形成氧化膜。

(2) 其他方式降低界面态。如：通用在 2008 年提出申请 US5217398B2，采用在 O_2 和 Ar 的气氛下氧化形成氧化膜。

不同申请人一直在不断尝试各种其他方式以降低界面态，以追求除氮化之外的更好的方式。

综上所述，可以看出：2000 年以前，对界面态控制的研究集中在 H_2 处理以及氧化层的致密化。2000 年直到现在，栅氧化膜的氮化处理成为绝对主流的路线，从早期的工艺方法和参数改进以更好的控制界面态，到 2006 年开始逐步涉及除控制界面态之外的性能外的栅氧化层性能，如电解质击穿寿命以及栅漏电流特性等，这从一个侧面反映出氮化技术的进步已经到达了目前能达到的某种程度的极限，需要新技术的出现以刺激技术的进一步进步。同时，可以看出对氮化工艺的改进依然是持续研究的重点，然而尚未出现新的技术突破。

从申请申请人区域分布的角度看，SiC MOSFET 器件的申请人以美国申请人和日本申请人为主。中国申请人在该领域基本为空白。

美国申请人进入该技术领域的时间较早，是目前主流技术的发源区域。克里，作为技术的主要申请人之一，专利申请相对较少，只在关键技术改进上提出申请，并进行广泛布局，寻求保护。美国的主要申请人克里，目前已经推出了成熟的 SiC MOSFET 器件。

日本申请人作为技术的跟随者，对技术的敏感性很高，跟进快、后期研究持续、深入。从各个角度提出改进方案，提高氧化膜的质量，器件实用化程度强。对氮化技术的改进主要体现在具体氧化/氮化方式，退火温度等。比较突出的一个方面是，日本申请人对 SiC 衬底晶面方向的研究是其他地区申请人所基本不太关注的。不同的申请人于不同年代分别指出采用特定的晶面而不是一般的（000-1）晶面，以进一步提高载流子迁移率。其研究过的和/或被保护的晶面包括 4H-SiC 的（03-38）晶面、6H-SiC 的（01-14）晶面以及相对于{0001}表面具有大于等于 50°，小于等于 60°的偏离角的晶面。从产品情况上看，日本的罗姆公司 2010 年底宣布实现 MOSFET 的量产；三菱公司已经在公司的 “研发成果发布会”上展示了包含 SiC MOSFET 的“全 SiC”功率模块[1]。

欧洲申请人对栅氧化膜的研究相对较少。其主要申请人英飞凌目前的场效应器件产品主要为 JFET 产品，其没有栅氧化膜，因此不存在栅氧化膜对器件形成的限制。

4.2.2 中国申请技术布局

图 4-2-2 示出了中国申请中栅氧化层形成方法的中国布局及法律状态。该技术在中国的申请共 21 件，其中住友 6 件，克里 5 件，松下 2 件。国外申请人开始该技术的研究比较早，克里最早的相关申请日在 1998 年度。同时，外国公司在中国的申请以 PCT 形式进入中国的形式较高（共 15 件），其中克里以及住友的 11 件申请均是 PCT 申请。这也看出作为一种新型器件的重要技术，各个公司对于该技术正处于全球布局阶段。同时对于中国这个功率半导体器件的市场广泛看好，各个公司对于该技术在中国进行了积极的布局。各申请人的技

[1] “全球首次内置过电流包换电路”，三菱电机开发出“全 SiC”功率模块. http://china.nikkeibp.com.cn/news/elec/55259-20110217.html. 2012-10-20

术布局，既涉及基础技术方法，也涉及进一步提升性能的细节改进。

反观中国申请人提出的申请，在该重要技术上，只有中国电子科技集团公司第十三研究所有 1 件申请（CN101807527A），申请日为 2010 年 3 月 23 日，相对外国公司提交申请的日期较晚。该申请涉及的是对氮化工艺的进一步改进，在采用 N_2O 氧化形成栅氧化膜后，再采用 NHO_3 水汽对氮氧化硅进行再次氮化处理的方法来进一步降低界面态密度。

克里的申请有效比例高，5 件申请中有 4 件处于有效状态。同时克里的申请具有一定的技术连续性。2000 年的申请 CN1852092A 提出了两种氮化技术：1)在至少 1200℃下，在 N_2O 环境中氧化碳化硅，形成栅绝缘膜；2)在 N_2O 环境中退火碳化硅层上的氧化物层，退火温度大于 1100℃。其解决了之前采用 NO 作为退火或氧化气体时，NO 对健康的危害。之后，克里公司进一步研究了退火技术，包括在 N_2O/NO 环境下形成氧化物层；在 N_2O/NO 环境下退火；再在 H_2 环境中退火形成氮化的氧化物层（2001 年提出的申请 CN100517607C，其与 CN1852092A 有一个相同的优先权，是对 CN1852092A 的技术的进一步改进）。此后克里申请着眼于氧化、氮化方式的改进，如采用原子氧作为氧化源（2005 年提出的申请 CN100472736A），以及退火具体环境和温度的选择（2006 年提出的申请 CN101283439B，退火温度为 1200~1600℃，退火环境为 SiC 管中退火）。

住友关于栅氧化膜的技术在中国的布局时间相对于克里要晚，并且更多的关注于氮化工艺后具体性能参数的改进。该申请人提出的 6 件申请中，有 4 件涉及了选择具体的 SiC 晶面作为形成栅氧化膜的晶面通过晶面的选择，来提高载流子迁移率。其所选择的晶面为：相对于{0001}表面具有大于等于 50°，小于等于 60°的偏离角。住友公司的 6 件申请，4 件未决，2 件无效，还没有处于有效状态的申请。

在形成氧化膜的其它方式探索上，基本集中于 2006 年。住友提出在沟槽表面形成硅膜，加热到不小于硅膜熔融的温度，移除加热的硅膜；在移除加热的硅膜之后暴露的表面上形成栅绝缘膜（CN101529598B）；富士公司提出在 SiC 表面形成氧化硅层；在非氧化气氛中将氧化膜的温度升高至所述氧化硅成为不含晶体的液化态温度；再将氧化硅层快速冷却到小于等于使非晶态 SiO_2 基本不产生 SiO_2 晶体的温度，并形成氧化膜（CN101060081A）。2010 年，通用提出一种将 Si 层和 SiC 层结合，氧化全部或部分 Si 层，形成 SiC 上氧化层的方法（CN102412300A）。

综上所述可知，目前降低 SiC/SiO_2 之间界面态密度的主要方法是栅氧化膜的氮化技术，该项技术基本上始于克里公司 2000 年提出的申请。此后，不同申请人就退火的温度，以及退火的环境进行了进一步的研究，退火温度一般集中在 1100~1600℃之间，氮化气体从 NO/N_2O 到含 P 气体，退火还进一步包括氮化后的氢气退火或惰性气体退火。在十几年的发展中，申请人也探索了其他形成低界面态氧化膜的方法，如：将 SiO_2 膜加热至非晶化，再去除或者降温处理；将硅片和 SiC 片结合，氧化部分或全部硅片。

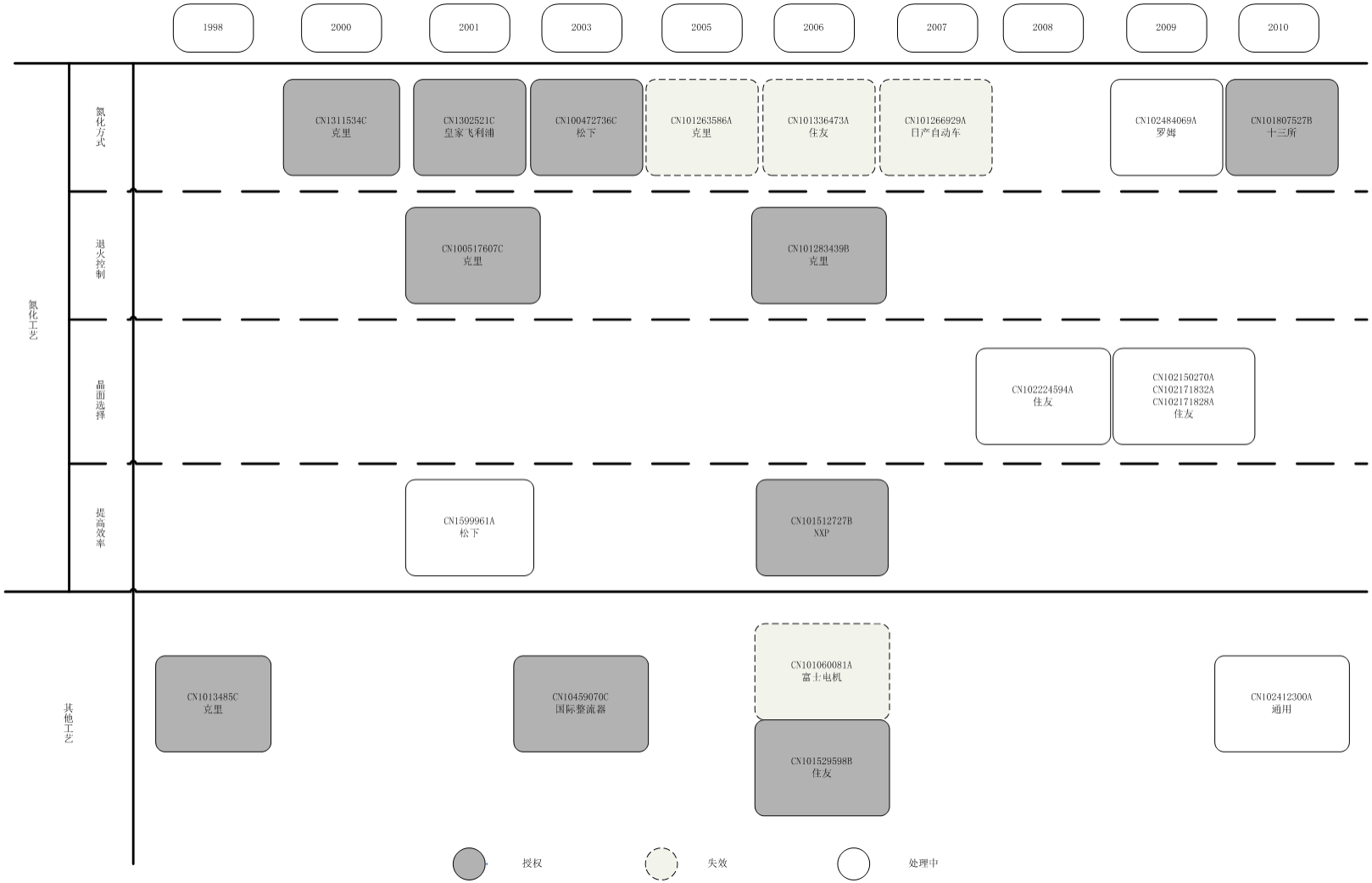


图 4-2-2 栅氧化层形成方法的中国布局及法律状态

第5章 英飞凌公司专利申请分析

总部位于德国诺伊比贝格（Neubiberg）的英飞凌科技股份公司，为现代社会的三大科技挑战领域——高能效、连通性和安全性提供半导体和系统解决方案。英飞凌连续八年位居全球功率半导体市场榜首，根据 IMS Research 发布的数据，2010 年，英飞凌进一步巩固其领先地位，在全球市场上占据了 11.2%的份额， IMS Research 的市场调查表明，英飞凌在分立式功率半导体细分市场上拥有 8.6%的市场份额，第一次确定了在该市场上具有明确的榜首地位。

英飞凌于 1999 年 4 月 1 日在德国慕尼黑正式成立，是全球领先的半导体公司之一，其前身是西门子集团的半导体部门。1999 年，西门子为了便于其庞大的电子零件集团进一步发展，把电子零件的两大部分：有源元件（半导体）和无源元件（电容、磁芯等）分别独立出来形成两家股票公开上市公司。其中的半导体集团就是英飞凌。

英飞凌主要生产 IGBT，功率 MOSFET 芯片，快恢复二极管等功率半导体器件，并生产各种封装尺寸的 IGBT 和 MOSFET 等分立功率半导体器件。功率半导体器件一直是英飞凌的核心部分，具有较强的竞争力，英飞凌 IGBT、COOLMOS 分立功率半导体器件以及具有电路功能的 Cool Set 在中国消费类电子、家电等市场已取得较大的市场份额。综上，作为全球最大的功率半导体器件供应商，英飞凌的市场地位毋庸置疑；同时，英飞凌在功率半导体器件发展过程中起了重要的推动作用，本章将重点分析英飞凌全球及在中国专利申请的现状。

5.1 首次申请及目标国家/地区分布

截至 2012 年 4 月 30 日，英飞凌在全球累计专利申请量为 1105 项，其中在中国的申请量为 165 件。

如图 5-1-1 所示，美国、德国作为功率半导体器件的传统技术强国及消费市场，大多数公司都会重视在这些国家的专利布局，以使其产品的生产和销售在这些国家得到保护，英飞凌公司也不例外，其在本国的申请量超过 1/3，而在美国的申请量也达到了 30%；英飞凌在中国的专利布局位居第三位，超过了在欧洲（欧洲专利局）的专利申请量，这其中在中国内地与在中国台湾的申请量相差不大，在中国内地的申请量略高于中国台湾，英飞凌愈加意识到中国内地市场的巨大潜力，对于功率半导体器件技术和产品的需求与日俱增；同时，日本作为半导体行业巨头的地位也日益凸显，这对英飞凌公司都有着巨大的吸引力，其愈加重视

在中国、日本的专利布局，以便更好地保护其技术并抢占市场份额；另外，英飞凌公司在韩国、澳大利亚、瑞典等也有一定量的专利申请。

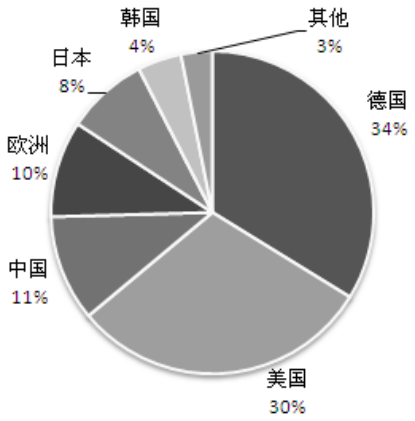


图 5-1-1　英飞凌功率半导体器件目标国家/地区专利申请构成比例

图 5-1-2 展示了各类功率半导体器件专利申请在各主要国家/地区的分布情况，MOSFET 作为英飞凌专利布局的重点，其在各个国家都有大量的专利申请，是各个国家/地区中占比最大的器件类型；IGBT 申请主要集中在美国、德国，其在日本的申请量也比较大，位于这些国家各类器件比重的次席，而在其它国家 IGBT 占比低于双极晶体管或者与其持平，之所以在 IGBT 领域比较侧重在日本的专利布局，很大程度上归因于日本功率半导体行业尤其是 IGBT 技术的活跃，日本的富士、三菱、东芝等公司都是英飞凌的重要竞争对手，而中国、韩国在 IGBT 领域起步较晚，在技术上还远远不能挑战英飞凌的领先地位。对于申请总量相对较少的双极晶体管、晶闸管、二极管，除在美国、德国申请量较大外，其它国家申请相对较少，值得注意的是，双极晶体管的布局相对更加均衡。

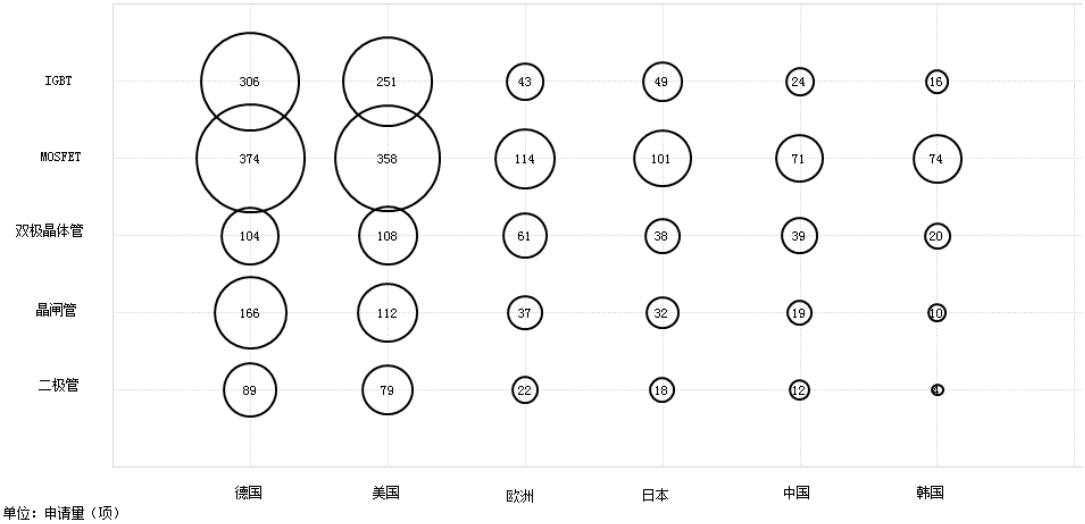


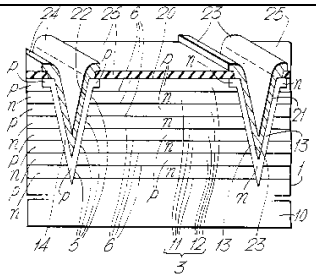
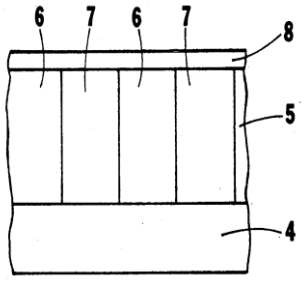
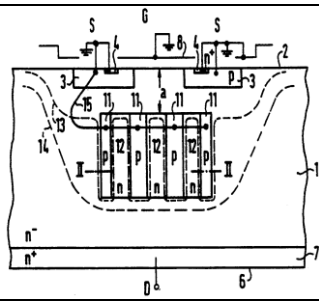
图 5-1-2 英飞凌各类功率半导体器件在主要目标国家/地区的申请量

5.2 COOLMOS 核心专利分析

1998 年，COOLMOS（超结 MOS 晶体管）成功推出，600V MOSFET 导通电阻仅有 70mΩ，这是与西门子分离后的英飞凌公司的重要产品，给英飞凌带来了新的业绩增长点。

通常国际上认可的 COOLMOS 的核心专利包括 US4754310A、US5216275A、US5438215A，表 5-2-1 列出了这三个专利的相关信息，它们的被引频次都超过了 200 次，而 US5216275A 更是高达 334 次，它们从申请之日起在业内得到了持续的关注，虽然它们的申请时间较早，现在都已失效或即将失效，但它们都维持了发明专利保护的最长期限，这些都肯定了它们的基础地位和核心地位。

表 5-2-1 COOLMOS 核心专利

发明名称	同族专利号	申请人	引用频次	引用持续时间	摘要附图
高压半导体器件	US4754310A EP0053854A1 JP57124469A DE3173754DD1 GB2089119A	飞利浦	248	1986~2008	
半导体功率半导体器件	US5216275A CN1056018A	电子科技大学	334	1993~2009	
功率 MOSFET	US5438215A JP7007154A DE4309764A1	西门子	228	1993~2010	

这三篇核心专利中的 US5216275A（中文同族专利 CN1056018A）是中国电子科技大学陈星弼院士的发明专利，他打破传统功率 MOSFET 理论极限，在此基础上，被国际上盛誉为功率 MOSFET 领域里程碑的新型功率 MOSFET——COOLMOS 问世并很快走向市场。COOLMOS 由于采用新的耐压层结构，在几乎保持功率 MOSFET 所有优点的同时，又有着

极低的导通损耗。这里需特别指出的是，陈院士提出的复合缓冲层（CB）及异型岛结构，是一种耐压层上的结构创新，不仅可用于垂直功率 MOSFET，还可用于功率 IC 的关键器件 LDMOS 等功率半导体器件中，可称为功率半导体器件发展史上的里程碑，该发明由此也名列 2002 年信息产业部三项信息技术重大发明之首位。陈院士的该项专利在 2000 年转让于动力莫斯非特技术有限公司（POWER MOSFET TECHNOLOGIES），并于 2002 年再次转让于美国的三维半导体股份有限公司。2011 年 5 月 4 日该专利因有效期届满而失效。

陈院士的该项专利仅涉及了结构设计，并未提出制作方法，而英飞凌在此基础上，利用公司成熟的生产线，首先推出了 COOLMOS 产品。动力莫斯非特技术有限公司就该项专利向英飞凌提起侵权诉讼，英飞凌也因此支付了大量的专利许可费用，但反观现今的 COOLMOS 市场，其获得的回报也是超值的。

专利引用一般包括申请人的专利引文、检索报告中的专利引文以及审查期间的专利引文，迄今为止，陈院士的该项专利被引用次数已达 334 次，图 5-2-1 中实线显示了该专利的历年引证频次，由图中可以看出，从 1998 年开始，该专利被大量引用，并于 2001 年达到最大值 51，其后随着技术的更新，其引用频次逐年降低，2009 年之后，未出现引证该专利的申请。同时，图 5-2-2 中虚线显示了英飞凌历年引用该专利的次数，图中可以看出英飞凌从 1996 年开始引用该专利并逐年增加，1998 年开始相对较多的引用该专利，并于 2000、2001 年达到峰值的 8 次。

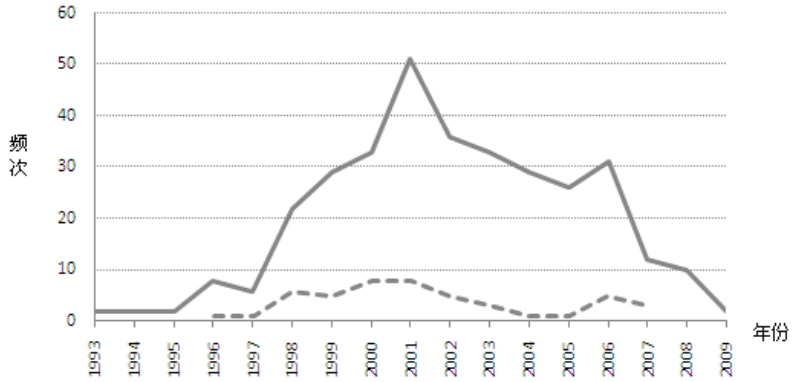


图 5-2-1 专利 US5216275A 历年引证频次

一项重点专利的出现除了带动本领域技术领域一系列专利申请的出现，在该专利申请的基础上迅速介入研究，也能开发出质量较高的专利申请，针对引证该专利的申请人进行研究，能够发现已经进入或计划进入该专利产生的市场的公司，从一个侧面反映该市场的竞争情况。对引用 US5216275A 的专利文献以申请人进行归类得到图 5-2-2，其中专利公开号后括号内的数字表示该专利被引用的次数，公司名称后括号内的数字表示该公司引用该专利的次数。由图 5-2-2 可以看出，大量公司都在该核心专利周围实施外围专利战略，多次引用该专利，从而在该专利的基础上产生了大量外围专利，并且出现了许多被引次数较多、质量较高

的专利申请，这些公司既包括已经进入市场的英飞凌、意法半导体、飞兆、威世、东芝，也包括将要进入市场的富士。英飞凌作为市场的领军人物，共 47 次引用了该专利，并产生了多篇被引频次较高的专利申请，这些专利主要集中在明确 COOLMOS 器件的工艺方案、改善 P 型柱的特征等。飞兆 65 次引用了该专利，为与英飞凌的专利纠纷谈判积累了大量筹码。而富士则先于市场开始专利布局，为即将进入该市场奠定了坚实的基础。然而，也有例外，位居市场份额次席的意法半导体引用该专利的次数仅有 7 次，且没有被引频次特别高的专利，与该公司的市场占有率不相吻合。

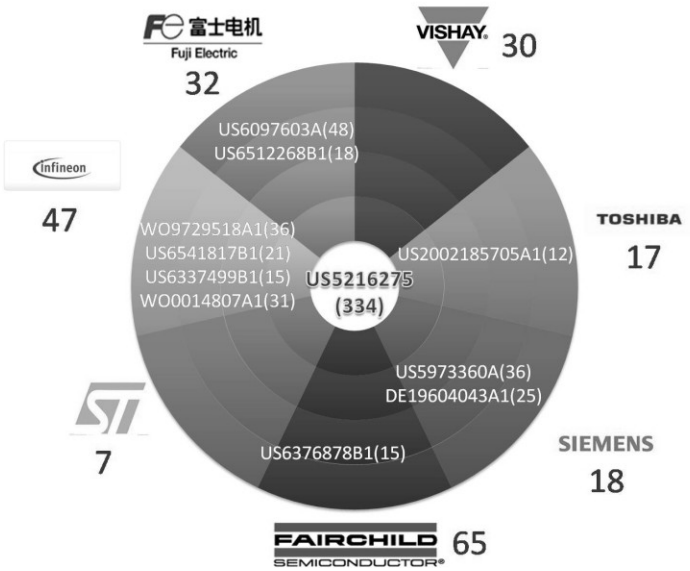


图 5-2-2 引用专利 US5216275A 的主要申请人

通常申请人的专利引文更加明确地表明申请人在所引用专利的基础上所作的进一步改进，英飞凌的专利引文中包含 US5216175A 的共有 20 项，如图 5-2-3 所示，英飞凌围绕该核心专利周围设置许多原理相同技术方案不同的专利，形成一个庞大的外围专利网，这些专利申请主要从结构的改进以及工艺的完善两方面入手，结构改进的主要目的是在保证不影响其它性能参数的情况下，尽量降低导通压降，主要的结构改进包括超结形状、位置的变化，以及超结中掺杂浓度的变化，还包括在超结结构中引入电介质层；实现 COOLMOS 中超结结构的方法主要有多次不同深度离子注入、多层外延以及刻槽工艺，这些在英飞凌的这 20 项专利中均有涉及，当然，结构改进的专利申请中大多也包含相应的制备方法，这种缜密的外围专利布局进一步巩固了英飞凌在该领域的市场地位，并用来抵御他人对其专利的进攻并遏止竞争对手技术扩张。2008 年，飞兆半导体在美国对英飞凌提起诉讼，控告这家德国公司的 COOLMOS 晶体管和 OptiMOS 电源管理器件以及 IGBT，同年，英飞凌向美国特拉华州地方法院对飞兆提起诉讼，本诉和反诉标的包括与 COOLMOS 晶体管以及沟槽式功率 MOSFET 和 IGBT 功率晶体管有关的 14 项专利。通过广泛的半导体技术专利交叉许可，双方就上述诉讼达成和解。根据和解协议，飞兆半导体将向英飞凌支付许可费，但协议的具体

条款和条件保密，英飞凌和飞兆半导体将通知美国特拉华州地方法院，双方已经达成和解，并将申请撤诉。作为半导体行业的全球领袖，英飞凌目前正在和多家半导体公司进行专利许可谈判。这些谈判对持续保护其知识产权和商业利益至关重要，而用于谈判的筹码就是英飞凌多年累积的核心专利以及围绕自己或他人的核心专利所进行的外围专利布局战略，COOLMOS 就是英飞凌利用他人核心专利为自己赢得市场和技术优势的一个典型案例。

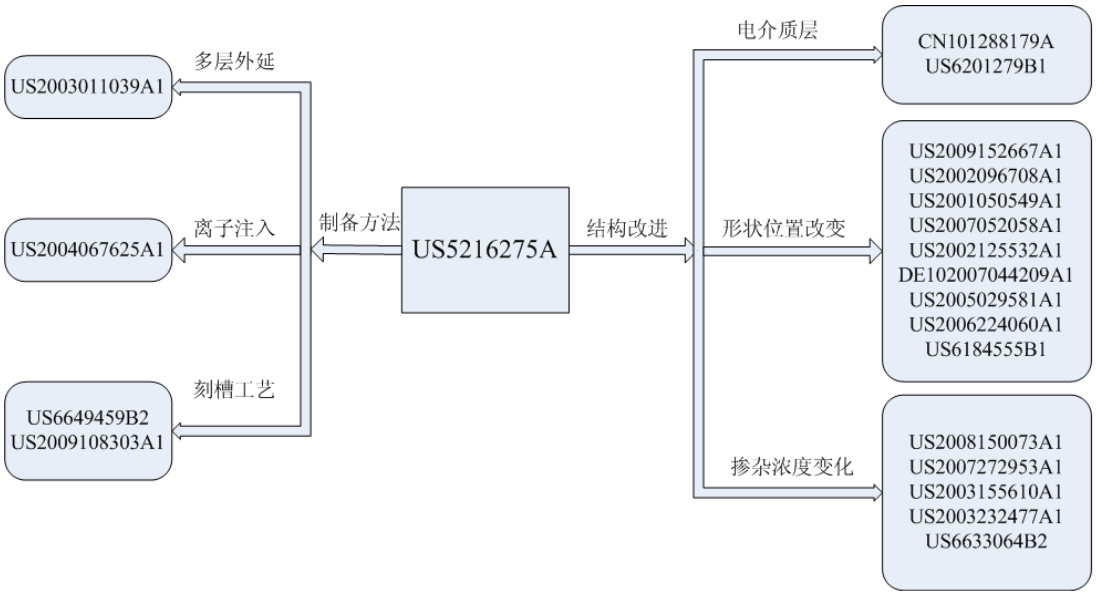


图 5-2-3 英飞凌针对 US5216275A 的相关外围专利分布图

第6章 主要结论

6.1 功率半导体器件领域整体结论

1、功率半导体器件领域全球专利申请量稳中有升，中国专利申请增速迅猛。

全球功率半导体器件行业整体上呈现蓬勃发展态势，近 10 年（2001~2010 年）来全球专利申请量处于稳步增长阶段，每年的全球专利申请量都在 1500 项左右。尤其是 MOSFET 和 IGBT 处于快速发展阶段，两者在近 10 年的申请量占比达到 67%。

中国是功率半导体器件领域目前发展最为活跃的国家，近 5 年的专利申请量占总申请量的比例高达 84%，发展非常迅速，在 2010 年的专利申请量已经达到 418 件，但多边申请比例很低，尚不足 4%。

2、功率半导体器件领域的全球专利申请中，日本申请人占据主导地位。

其中日本原创申请（24181 项）占总申请的 63%，远远超过其他国家申请，在申请量上基本处于垄断地位，其他依次为美国、中国、韩国和德国，这 5 个国家申请人的申请总量占总申请量的 93%。其中德国和美国最为重视在其他国家的专利布局，多边专利申请比例分别为 65%和 49%。

全球专利申请的主要申请人的前 15 排名列表中，日本公司占据了 11 个席位，优势非常明显。其中申请量居前 5 位的分别是东芝、恩益禧、日立、三菱、富士，均是日本公司，掌握该领域的重要专利。另外，一些欧美企业，如英飞凌、西门子也在功率半导体器件领域提出了大量的专利申请。

3、全球专利申请和中国专利申请的专利技术发展重点均集中在 MOSFET 和 IGBT 器件。

在功率半导体器件领域全球专利申请总数据中，涉及 MOSFET 和双极晶体管技术的专利申请量最多，分别占总申请量的 29%和 24%。但是在 2000 年以后，随着大功率双极晶体管的应用领域被进一步压缩以及 IGBT 应用领域的逐步拓展，全球的专利申请技术重点则集中在 MOSFET 和 IGBT 这两个领域。

中国专利申请则由于起步较晚，1995 年后才开始逐步发展起来，因此专利申请技术较少涉及早期功率半导体器件，主要分布于 MOSFET 和 IGBT 领域，其申请量分别占总申请量的 43%和 19%，并且也是近年来的技术发展重点。

6.2 IGBT 领域结论

1、全球范围内 IGBT 领域的专利技术正处于稳定发展阶段，申请人主要来自日本、美国和德国；新型的 RC-IGBT、RB-IGBT 以及超结 IGBT 是未来的主要发展方向。

自 1980 年出现第一件 IGBT 领域专利申请，历经萌芽期、快速成长期，目前已进入稳定发展阶段，该领域技术逐渐集中掌握于部分申请人手中，专利申请人数量也保持在稳定水平。该领域专利申请人主要来自日本、美国和德国，三国申请人的专利申请量占据了总申请量（7302 项）的 88%。日本申请人的专利申请量及多边申请量均遥遥领先于其它国家/地区，美国、德国掌握了很多关键技术的专利权，多边申请比例较高，分别为 43%和 57%。中国进入 IGBT 领域的时间较短，但发展迅猛，中国申请人的申请量已经位居世界第四位，但是基本上只在中国寻求保护，很少对美国、日本和德国等 IGBT 领域技术先进成熟的国家进行专利布局。

全球范围内专利申请为国外公司垄断，在多边申请量居前十五位的申请人中，日本申请人占据了 8 位。目前在该领域技术相对比较活跃的企业包括松下、丰田、瑞萨和英飞凌，这四家企业在 2006 年～2010 年五年内的专利申请量分别占企业总申请量的 66%、59%、56%和 48%。并且日本的三菱，德国的英飞凌，瑞士的 ABB 和美国的飞兆都非常重视在其他国家的专利布局。各主要申请人的专利技术都集中于元胞技术，此外，富士的申请中涉及工艺的比例较大，三菱则更偏重于模块方面的专利申请。

通过对 IGBT 器件元胞结构的技术改进和重要功能区域技术发展的分析，得到 IGBT 元胞结构技术经历了平面栅穿通（PT）结构、精细平面栅穿通（PT）结构、平面栅非穿通（NPT）结构、沟槽栅非穿通（NPT）结构、平面栅场截止(FS)结构和沟槽栅场截止(FS)结构共 6 代的演进，目前作为新型结构的 RC-IGBT、RB-IGBT 以及超结 IGBT 将是未来的主要发展方向。而作为元胞中重要结构的沟槽栅，作为降低单元密度以及寄生效应的重要结构，其改进则从较早时期大多集中在宽度、间距、绝缘膜等的改进发展到后来的较多在于沟槽结构的变化如形成第二沟槽、深沟槽等。

2、中国的 IGBT 技术处于快速发展阶段；日本和欧美申请人非常重视中国市场；元胞技术是 IGBT 领域的技术重点和研发热点。

IGBT 领域在中国的专利申请量为 828 件，其中由中国申请人提出的专利申请为 281 件，国外申请人提出的专利申请为 547 件。2000 年之后，申请量快速增长，其中国外申请人的申请量在呈波动上升的趋势，中国申请人的申请量自 2006 年以来增长迅速，在 2010 年的年申请量已超过国外申请人的年申请量。但是中国申请人的有效发明专利权仅为 55 件，远远少于国外申请人所获得的 251 件。

国外申请人主要来自日本、美国和欧洲，其中日本申请人占据绝对优势，其申请量占国外总申请量的 67%。日本的主要申请人包括三菱、东芝和富士，三菱在各技术分支均进行

专利布局，东芝公司则侧重于在元胞方面的专利申请；来自瑞士的 ABB 和来自德国的英飞凌也是位居前十的主要申请人，其中 ABB 公司侧重于在元胞、封装方面的专利申请，英飞凌的申请则涉及元胞、工艺和封装领域。中国的申请人中主要集中在江苏、四川、浙江、上海、北京和广东，并且科研院所的专利申请占中国总申请量的 38%。

在 IGBT 领域中，申请人一直持续关注于涉及降低导通压降，提高开关特性，提高击穿电压方面的专利申请，涉及简化工艺方面的申请量则较少。

6.3 SiC 器件领域结论

1、做为目前功率半导体器件领域的技术热点，SiC 器件领域的全球专利申请量仍处于快速增长阶段，采用 Logistic 模型预测其申请量饱和出现在 2025 年左右；日本、美国和德国申请人在 SiC 器件领域的研发实力最强；FET 器件和二极管是 SiC 器件的研究重点。

SiC 功率器件的申请量从 20 世纪 90 年代开始大幅上涨，2001 年之后，申请量依然呈快速增长的态势，还处于技术的成长期，具有较强的技术潜力。采用 Logistic 模型，利用 SPSS 软件使用曲线回归分析得出申请量拐点出现在 2015 年左右，累计申请量的饱和出现在 2025 年左右，饱和申请量为 7000 项左右。

其中日本申请人占绝对优势，专利申请量占总申请量的 62%，其次为美国和德国申请人，分别占总申请量的 23%和 4%，中国则位居第四，并且中国近 5 年的活跃度为 54.2%，是申请最为活跃的国家。在排名前十的申请人中，除了美国的克里和瑞士的 ABB 分别位居第三和第九，其余 8 位都是日本申请人。

SiC 器件所涉及的技术分支主要有二极管、FET 器件、双极型开关器件以及 IGBT 器件。其中 FET 器件和二极管是该领域的研究重点，其中 FET 器件申请量占 4 种器件申请总量的 52%，二极管申请量占 4 种器件申请总量的 23%。SiC IGBT 器件则出现较晚，从 1991 年开始有相关申请，2002 年后，申请量虽然不大，但总体上成上升趋势。

2、中国的 SiC 器件技术起步于 19 世纪 90 年代，晚于全球的技术发展；中国和国外申请人申请量差距大，国外申请人主要为公司，中国申请人则以大学为主；FET 器件是申请量最多的器件，占总申请量的 58%。

SiC 器件领域在中国的专利申请量为 316 件，其中由中国申请人提出的专利申请为 59 件，国外申请人提出的专利申请为 257 件。中国的关于 SiC 功率器件的最早申请出现于 1989 年，而中国申请人则于 2002 年才开始相关申请，且中国申请量要远远少于国外申请量，在 2010 年有所突破，目前统计数据中的申请数量达到 16 件，且申请人数量大量增加。

在国外申请人的专利申请中，日本申请人的申请量最大，占总申请量的 64%，其次为美国申请人。国外申请人以公司为主，申请量占总申请量的 89%，而中国申请人则是科研院所占绝对优势地位，申请量占总申请量的 52%，如电子科技大学和西安电子科技大学，申请量

分别为 14 件和 8 件。

与全球技术分布相类似，FET 器件是申请量最多的器件，其中主要是指 MOSFET 器件，国外申请人在 FET 器件上的有效专利为 95 件，中国申请人的仅为 16 件。二极管器件的申请量仅次于 FET 器件，国外申请人在二极管上的有效专利为 23 件，中国申请人的为 8 件。

6.4 重点申请人结论

自 2004 年之后，英飞凌的全球专利申请量开始下降，并在 2009 年大幅度下滑，但其在中国的专利申请却有明显地提升，可见英飞凌对中国市场的重视。

英飞凌的专利技术主要侧重于市场份额中占据优势的 MOSFET 及 IGBT。其中的 COOLMOS 是英飞凌的重要产品之一，为了巩固其市场地位，英飞凌围绕 COOLMOS 核心专利进行了大量的外围专利布局，这种缜密的外围专利布局有效地抵御了其他公司对其专利的进攻，并成为专利纠纷谈判的筹码。